corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale 3 - 10 dicembre 1960 - un fascicolo lire 150 10° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

INDUTTANZA

Il termine « induttanza » non è nuovo al lettore. In effetti abbiamo già visto alle lezioni 7ª e 8ª cosa sia l'induttanza, quali fenomeni siano ad essa connessi e come tali fenomeni vengano sfruttati per la realizzazione di circuiti risonanti; infine, chi si è cimentato nella costruzione dei ricevitori a cristallo descritti, ha addirittura effettuata la costruzione di una o due bobine di induttanza.

Sulla base degli elementi già noti possiamo ora, in un primo tempo, riassumere i concetti fondamentali e, successivamente, inoltrarci in un più dettagliato esame delle particolarità, delle leggi, di più complessi fenomeni, delle misure, e di tutto ciò che ai fini della materia del nostro Corso occorre conoscere sull'argomento.

Sappiamo dunque che *un'induttanza è un elemento di circuito che si oppone alle variazioni della corrente;* la sua opposizione non è paragonabile a quella offerta da una resistenza in quanto non viene esercitata sulla corrente direttamente, bensì **sulle sue variazioni**. Infatti l'induttanza tende ad impedire che la corrente aumenti o diminuisca; la sua influenza si manifesta perciò come una specie di inerzia.

Quando si aumenta la velocità di una vettura, la sua inerzia si oppone all'aumento di velocità, ed analogamente la forza viva della vettura in moto tende a mantenerla in tale stato quando si esercita un'azione frenante. Un fenomeno analogo si verifica appunto con l'induttanza, la quale tende ad impedire il prodursi di una corrente quando viene applicata una f.e.m., e viceversa immagazzina tale energia e la restituisce al circuito per conservare la corrente prodottasi, non appena viene a mancare l'energia della sorgente.

Dato che un'induttanza reagisce soltanto alle *variazioni* di corrente, essa reagisce evidentemente soltanto alla corrente alternata o alla corrente continua pulsante, e non alla corrente continua costante. La reazione stessa varia inoltre col variare della frequenza.

L'opposizione che l'induttanza offre alla corrente si chiama *reattanza induttiva*, e viene misurata in ohm. In una ipotetica induttanza pura — ossia priva di resistenza interna — la reattanza induttiva fa in modo che la corrente ritardi di un quarto di ciclo — ossia di 90° — rispetto alla tensione, ma in realtà un simile tipo di induttanza non può essere realizzato in quanto qualsiasi conduttore ha sempre una sua resistenza.

Le induttanze hanno varie forme, ma tutte sono fondamentalmente degli avvolgimenti di filo. L'unità di misura dell'induttanza è l'Henry. Il valore di induttanza di una bobina aumenta con l'aumentare del diametro dell'avvolgimento o del numero delle spire. Sappiamo già che l'uso di un metallo magnetico (come ad esempio il ferro), come anima di una bobina, ne aumenta l'induttanza, per cui il valore di un indotto può variare semplicemente spostando un nucleo metallico rispetto al centro dell'avvolgimento.

La reattanza induttiva è direttamente proporzionale alla induttanza, ossia se aumenta la seconda, aumenta contemporaneamente anche la prima, e viceversa.

Le induttanze vengono usate sia nei ricevitori che nei trasmettitori. Alcune tra quelle usate nei trasmettitori devono essere di grandi dimensioni in quanto devono sopportare correnti e tensioni rilevanti.

In **figura 1** è visibile una tipica induttanza per trasmettitore; essa consiste in un semplice avvolgimento di filo (o per meglio dire di tubetto, e vedremo più avanti il perché) di grosso diametro. L'aspetto delle bobine di ricezione ci è oramai noto.

Alcune bobine vengono costruite con un nucleo mobile, in modo che l'induttanza possa essere variata semplicemente introducendo o estraendo quest'ultimo; tali tipi vengono denominati induttanze *a permeabilità variabile*. Un tempo, simili induttanze furono usate in alcuni radio ricevitori domestici per la sintonia sulle varie stazioni emittenti. Altri tipi di bobine possono variare la propria induttanza mediante il collegamento di varie prese praticate sull'avvolgimento; un tipo del genere è appunto quello adottato nel nostro ricevitore descritto alla lezione 9ª; questo sistema viene però usato principalmente nei trasmettitori.

Una bobina di filtro (*impedenza*), è un induttore le cui proprietà sono di offrire, di proposito, la massima resistenza alla corrente alternata, e la minima alla corrente continua. Quindi tale tipo di induttanza adottato ove ciò sia necessario, lascia passare facilmente la c.c., mentre blocca la corrente alternata.

La **figura 2** mostra un tipo di induttanza con nucleo ad « aria » (il supporto è in ceramica ma ai fini della permeabilità è pari all'aria), usato per impedire il passaggio della corrente alternata a radiofrequenza.

Grosse impedenze a nucleo di ferro vengono usate nei

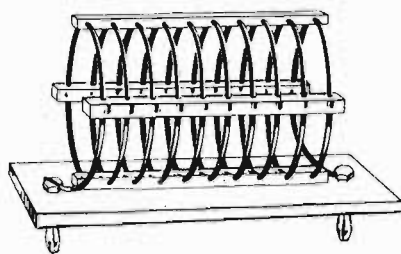



Fig. 1 — Induttanza tipica per trasmissione su onde corte. Anzichè in filo di rame viene spesso costruita con tubetto di rame, argentato: a pagina 225 è detto del motivo di ciò. La basetta munita di spinotti la rende intercambiabile.

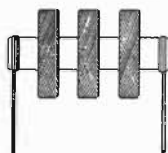



Fig. 2 — Un altro tipo di induttanza particolare è l'impedenza per Alta Frequenza. Gli avvolgimenti, suddivisi a gruppi, sono avvolti a macchina e sono detti a « nido d'ape ».

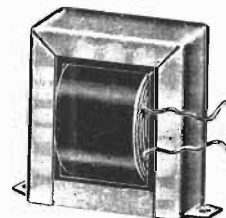



Fig. 3 — La funzione di impedenza che compie l'induttanza della figura a fianco viene svolta da un'« impedenza » di questo tipo allorchè si tratta di Bassa Frequenza. Occorre un nucleo di materiale magnetico.

circuiti ad audio-frequenza, oppure come filtri nei circuiti di alimentazione per livellare le variazioni residue della corrente pulsante: un esempio è visibile in **figura 3**.

Ricorderemo in ultimo che, quando una induttanza è percorsa da corrente alternata, si produce intorno ad essa un campo magnetico, e se si pone vicino alla prima una seconda bobina, detto campo magnetico variabile si allaccia a quest'ultima, e vi induce una tensione alternata. Questo è il principio del trasformatore, che studieremo più avanti, ma è un fenomeno a noi già noto, che abbiamo visto applicato nei ricevitori per il trasferimento delle correnti a radiofrequenza da un circuito all'altro (ad esempio dal circuito d'antenna al circuito accordato di sintonia, ecc.).

AUTOINDUTTANZA

Quando la corrente che scorre nel circuito di **figura 4-A** subisce delle variazioni, varia contemporaneamente il campo magnetico che circonda il conduttore costituente L; tali variazioni influenzano la bobina stessa in quanto viene indotta in essa una f.e.m. opposta, la quale — ricordiamo — si oppone alle variazioni della corrente originale che ne è stata causa.

Studiamo ora l'effetto dell'induttore L della figura 4-A.

Quando il commutatore si trova in posizione *1*, il circuito consiste in una batteria, una bobina ed una resistenza in serie. Allorchè tale circuito viene chiuso, ossia portato appunto in posizione *1*, la corrente inizia a scorrere in esso. Contemporaneamente sorge il campo magnetico intorno all'induttore, inducendovi una f.e.m. opposta la quale contrasta la tensione applicata e quindi l'aumento di corrente; di conseguenza, quest'ultima, a causa dell'opposizione, raggiunge il suo valore massimo non immediatamente, bensì gradatamente, come si vede dalla curva della figura **4-B**.

Se il commutatore viene portato in posizione *2*, la corrente comincia a diminuire. L'azione di cui sopra si verifica in senso opposto, in quanto il campo magnetico diminuisce, col risultato che la tensione indotta si oppone alla diminuzione della corrente, ossia la f.e.m. indotta è nella medesima direzione del potenziale applicato precedentemente, e tende a conservare il passaggio di corrente. Per questo motivo la corrente non scende immediatamente a zero ma diminuisce in maniera esponenziale in quanto la f.e.m. indotta, o tensione di autoinduttanza, continua a provocare corrente.

L'ammontare della f.e.m. indotta è proporzionale all'ammontare delle variazioni di corrente.

L'induttanza L di un componente dipende dalle dimensioni e dalla forma dello stesso. Un conduttore diritto ha praticamente solo resistenza, ma se è avvolto intorno ad un nucleo ferroso, esso acquista in aggiunta, una apprezzabile induttanza. Tale induttanza è indipendente dalla corrente (quando il nucleo è antimagnetico), e può essere determinata sia in base alle dimensioni del componente, sia in base alla permeabilità — ossia all'attitudine a condurre il flusso magnetico — del nucleo stesso.

L'equazione dell'induttanza relativa ad un induttore avvolto per un lungo tratto su un nucleo ferroso, con unico strato, è la seguente:

$$L = \frac{K \mu S N^2}{10^8 l}$$

nella quale K è eguale a 4,44 (quando S è espressa in cm^2 ed l in centimetri); μ (Mu) è la permeabilità del circuito magnetico, S la superficie della sezione trasversale del nucleo, N il numero delle spire avvolte, ed l la lunghezza della bobina.

Da questa equazione si nota che l'induttanza varia direttamente col variare della permeabilità, della superficie della sezione trasversale, del quadrato del numero di spire, ed inversamente col variare della lunghezza della bobina.

L'inerzia di un corpo solido che già abbiamo presa in esame (auto in movimento) rappresenta una delle analogie più significative ed evidenti con l'induttanza, in quanto, tutti sanno che, accelerando il movimento del corpo, la sua inerzia (che corrisponde alla induttanza) si oppone all'accelerazione stessa, esattamente come l'induttanza si oppone all'aumento della corrente; se si tenta di fermare di colpo il corpo in movimento, la sua inerzia tende a mantenere il movimento, nè più nè meno come l'induttanza fa continuare il passaggio di corrente dopo il distacco della batteria.

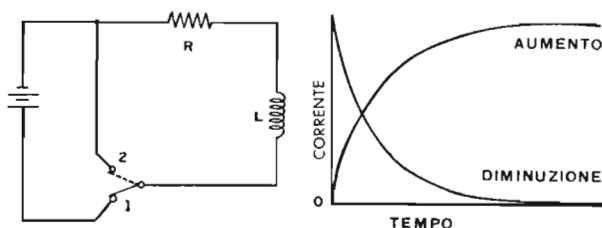



Fig. 4 — Se si chiude il circuito sulla batteria (commutatore in posizione 1) il campo magnetico che si crea in « L » induce una forza elettromotrice opposta che contrasta l'aumento della tensione. La corrente, perciò, non raggiunge il suo massimo valore immediatamente ma secondo l'andamento della curva « AUMENTO ». Aprendo il circuito (posizione 2) il fenomeno inverso fa diminuire la corrente secondo la curva « DIMINUZIONE ».

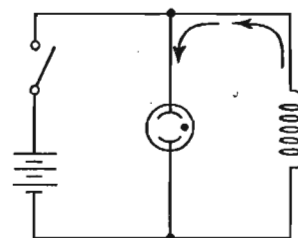



Fig. 5 — La restituzione di energia effettuata dall'induttanza allorchè il circuito viene aperto, provoca l'accensione della lampadina che a circuito chiuso non si illumina per una troppo bassa tensione.

COSTANTE di TEMPO

L'ammontare dell'aumento di corrente nel circuito induttivo della figura 4-A dipende dal rapporto $L:R$ in cui L è l'induttanza, ed R la resistenza. Se L è grande ed R è piccola, la corrente aumenta lentamente, e viceversa. Tale rapporto viene denominato **costante di tempo,** e corrisponde al tempo in secondi necessario affinchè la corrente raggiunga il 63,2 per cento del suo valore massimo. L'equazione è:

$$T = \frac{L}{R}$$

nella quale T è il tempo in minuti secondi, L l'induttanza in henry, ed R la resistenza in ohm. Poichè qualsiasi bobina ha una sua resistenza alla c.c., **la costante di tempo equivale alla induttanza divisa per la resistenza in ohm.**

Facciamo un esempio: se una bobina ha una induttanza di 15 henry ed una resistenza di 50 ohm, quale è la sua costante di tempo?

La costante di tempo è:

$$T = \frac{L}{R} = \frac{15}{50} = 0,3 \text{ secondi}$$

Se nel circuito non vi sono altre resistenze — e se si applica per esempio un potenziale di 25 volt — il valore massimo della corrente, determinato con la legge di ohm, è il seguente:

$$I = \frac{25}{50} = 0,5 \text{ A (500 mA)}$$

per cui, dopo il tempo di 0,3 secondi la corrente sale da zero al 63,2 per cento di 500 mA, ossia a 316 milliampère.

UNITA' di INDUTTANZA

L'induttanza di una bobina dipende dalle sue caratteristiche costruttive — esattamente come l'inerzia di un corpo solido dipende dal suo peso — ed è determinata dal numero delle spire, dalla loro reciproca distanza, e dal tipo di nucleo.

Se le spire sono molto vicine tra loro, ognuna di esse può allacciare il suo campo magnetico a quello di molte altre; l'induttanza di conseguenza, è maggiore di quella di un egual numero di spire però distanziate tra loro.

L'induttanza viene espressa in **henry,** in onore di Giuseppe Henry, scopritore del fenomeno dell'induttanza elettromagnetica. Si è convenuto che **un circuito ha l'induttanza di 1 henry quando una variazione di corrente di 1 ampère causa una induzione di f.e.m. opposta nel circuito, di 1 volt.**

Poichè però un henry è una unità di induttanza elevata per molti correnti impieghi nel campo delle radiofrequenze, i tecnici elettronici usano spesso delle unità più piccole, come ad esempio il **millihenry** (pari ad un millesimo di henry), ed il **microhenry** (pari ad un milionesimo di henry).

I valori di induttanza usati nei circuiti elettronici variano però notevolmente. I filtri di alimentazione, ad esempio, richiedono induttanze di molti henry, per ottenere i quali si usano bobine con molte spire avvolte su nuclei di ferro.

La bobine per le radio-frequenze invece sono del tipo con nucleo ad aria, ed hanno appunto, come si è detto, valori di millihenry e di microhenry.

Possiamo infine affermare che l'induttanza è una proprietà fisica delle bobine — come la resistenza lo è per i resistori — per cui una bobina è dotata di induttanza a seconda che la corrente la percorra o meno, e purchè sia in grado di immagazzinare energia sotto forma di campo magnetico.

L'ENERGIA ed il CAMPO MAGNETICO

Sappiamo che quando la corrente aumenta nell'avvolgimento nonostante la f.e.m. opposta dovuta all'autoinduzione, esso preleva energia dalla batteria e la immagazzina nel suo campo magnetico; sappiamo pure che non appena il circuito viene aperto, il potenziale indotto ha la medesima direzione della tensione originale applicata, ossia il campo magnetico stesso restituisce l'energia al circuito allo scopo di mantenere la corrente — quando quest'ultimo è aperto — nella medesima direzione.

Consideriamo ora il circuito della **figura 5.** Quando il

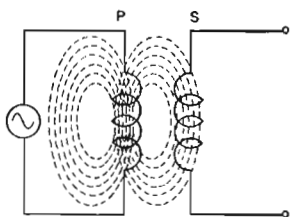



Fig. 6 A — In un trasformatore con nucleo ad aria, se la frequenza della corrente è bassa, solo una parte del flusso influenza il secondario: il resto è « flusso disperso ».

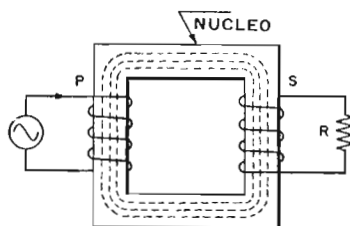



Fig. 6 B — Se si impiega un nucleo ferroso le linee magnetiche restano nel nucleo e influenzano quasi tutte il secondario: evidentemente, il rendimento del trasformatore ne è accresciuto.

commutatore è chiuso, la corrente scorre attraverso la bobina, ma poniamo che la tensione sia troppo bassa per accendere la lampada. Se si attua un tale circuito si può notare, tuttavia, che la lampada si illumina intensamente nell'istante in cui il circuito viene aperto, il che indica che la rapida scomparsa del campo magnetico restituisce l'energia elettrica che era stata usata per crearlo.

Vedremo in seguito che quando una corrente sinusoidale attraversa un circuito costituito da induttanza pura, tutta la potenza assorbita da quest'ultima in una parte del ciclo di c.a. viene restituita durante la seconda parte del ciclo stesso, ed in tal modo il consumo medio di potenza è zero.

La f.e.m. opposta, o tensione di autoinduzione, dipende:

1) dalla induttanza della bobina;

2) dall'ammontare della variazione di corrente che essa subisce.

Si può perciò generare una altissima tensione provocando rapide variazioni di corrente in un circuito con notevole induttanza.

Nei comuni televisori si sfrutta appunto questo fenomeno, unitamente ad un andamento della f.e.m. particolare, per generare una tensione molto alta (oltre 15.000 volt) che è ivi necessaria.

INDUTTANZE in SERIE ed in PARALLELO

Quando più induttanze (L_1, L_2 ed L_3) sono collegate in serie, l'induttanza totale, L_T, è data dalla somma delle induttanze individuali. Le singole induttanze si sommano in quanto ognuna per conto suo sempre si oppone alle variazioni della corrente che scorre nel circuito. In altre parole, l'induttanza totale viene calcolata esattamente così come si procede per il valore di resistenze in serie:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

Tuttavia, occorre avvertire che ciò corrisponde alla realtà soltanto nel caso in cui i singoli induttori siano sistemati in maniera tale che il campo magnetico di uno non si allacci a quello di un altro. Vedremo più avanti che, nel caso in cui esista un accoppiamento induttivo è necessario tenere in considerazione il fattore M di mutua induzione.

Le induttanze in parallelo — semprechè anche in questo caso non vi sia il citato accoppiamento induttivo — vengono anch'esse computate come le resistenze. Essendo in parallelo si ha:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Induttanze in serie vengono a volte usate nei circuiti di antenna dei trasmettitori e dei ricevitori: esse sono spesso regolabili, a mezzo prese intermedie, allo scopo di aumentare o di diminuire l'induttanza totale in serie con l'antenna. In tal modo quest'ultima può essere sintonizzata sulle varie frequenze impiegate. Tali tipi di bobine vengono denominate *bobine di carico.*

INDUTTANZA MUTUA

Sappiamo già che è possibile indurre in un circuito una tensione ed una corrente muovendo un magnete permanente o calamita in modo tale che il campo magnetico mobile tagli il circuito stesso; vediamo ora come si produce in altro modo un campo magnetico mobile.

Se facciamo passare una c.a. in una bobina, il campo magnetico che la circonda continua ad espandersi o a contrarsi, seguendo le variazioni di ampiezza della tensione e di intensità della corrente. Questo è appunto un campo magnetico mobile. Quando due bobine vengono poste vicine tra loro, in modo tale che il campo magnetico di una sia allacciato dalle spire dell'altra, esse sono accoppiate induttivamente; se una corrente alternata attraversa una delle due, il suo campo magnetico variabile taglia le spire dell'altra, inducendovi una tensione. Tale fenomeno esprime il principio a noi già noto, anche se in modo sommario, del **trasformatore.**

La bobina che produce il primo campo magnetico è ciò che noi conosciamo col nome di **primario,** e quella in cui la tensione viene indotta è, come sappiamo pure, il **secondario.** Entrambe le bobine infine, accoppiate mutualmente l'una all'altra, costituiscono un trasformatore. L'avvolgimento secondario può avere il medesimo numero di spire del primario (rapporto 1:1), un numero maggiore (rapporto in salita) o un numero minore (rapporto in discesa).

Come si può vedere nella **figura 6-A,** in un trasforma-

A

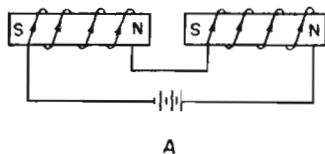



Fig. 7 A — Collegando due bobine in serie e accoppiandole in modo che il flusso risulti nel medesimo senso, l'induttanza totale viene ad essere la somma delle due induttanze, più due volte il fattore di induttanza mutua « M ». La disposizione è detta « collegamento favorevole in serie ».

B

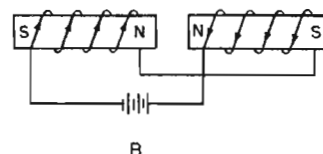



Fig. 7 B — Se le bobine poste in serie ed accoppiate sono collegate in maniera che il flusso risulti in senso opposto, l'induttanza totale è pari alla somma delle induttanze singole meno due volte il fattore di induttanza mutua « M ». Il collegamento è detto « collegamento sfavorevole in serie ».

tore con nucleo ad aria la parte di flusso che si allaccia all'avvolgimento secondario è solo una parte di quello generato dal primario. Quella parte di linee di flusso che non influenza le spire del secondario costituisce il *flusso disperso*, il quale, non inducendo alcuna tensione nel secondario stesso, deve essere contenuto nel minimo possibile. Tale risultato si può ottenere avvolgendo le due bobine su di un nucleo ferroso (figura **6-B**). In tale tipo di trasformatore le linee magnetiche restano nel nucleo, e quasi tutte influenzano il secondario; ciò è dovuto al fatto che il ferro dolce ha una permeabilità maggiore dell'aria, ossia la sua resistenza alle linee del flusso è molto minore di quella offerta dall'aria.

Per questo motivo inoltre, una bobina con nucleo di materiale magnetico presenta una induttanza molto più elevata di una bobina eguale ma con nucleo ad aria.

Calcolo dell'induttanza mutua

La tensione indotta nel secondario di un trasformatore quando una data c.a. scorre nel primario, dipende da tre fattori: la posizione relativa delle bobine, il rispettivo numero di spire e la distanza tra le bobine stesse.

Tutti questi fattori determinano *l'induttanza mutua M* del circuito, **la quale è una misura dell'ammontare della tensione indotta nel secondario, per una data variazione di corrente nel primario.**

Se tutto il flusso di una bobina taglia le spire dell'altra, l'induttanza mutua raggiunge il suo massimo valore e le bobine sono dette strettamente accoppiate o ad *accoppiamento stretto*, se invece il flusso utile è solo una parte, l'induttanza mutua è minima e le bobine sono dette ad *accoppiamento lasco*.

L'induttanza mutua — come l'autoinduttanza — viene misurata in henry. **Quando una variazione di 1 ampère al secondo in un circuito induce una tensione di 1 volt in un altro, l'induttanza mutua tra i due circuiti è di 1 henry.** Il rapporto tra l'induttanza effettiva e quella massima che è possibile ottenere con i due avvolgimenti si chiama *coefficiente di accoppiamento k*. Di conseguenza quando k è $= 1$, le bobine hanno il massimo di induzione mutua.

L'induttanza mutua di due bobine può essere espressa in funzione delle induttanze individuali e del coefficiente di accoppiamento:

$$M = k\sqrt{L_1 \times L_2}$$

Ad esempio, l'induttanza mutua di due bobine aventi entrambe una induttanza di 10 henry, con un coefficiente di accoppiamento di 0,8, è:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad \text{ossia} \quad M = 0{,}8\ (10) \quad \text{da cui:} \quad M = 8$$

Induttanza mutua di bobine in serie

Se due bobine sono collegate in serie senza che vi sia accoppiamento tra loro, la induttanza totale è eguale alla somma delle induttanze; tuttavia, se l'accoppiamento esiste, l'induttanza totale aumenta o diminuisce in quanto l'induzione mutua può sommarsi o sottrarsi all'autoinduttanza di entrambe.

Se due induttanze con induzione mutua sono collegate in serie in modo che i due campi magnetici risultino nel medesimo senso, si ha:

$$L_t = L_1 + L_2 + 2M$$

Tale sistemazione delle bobine si chiama *collegamento favorevole in serie* (**figura 7-A**). L'induttanza totale è costituita da **1**): l'autoinduttanza delle bobine 1 e 2, e da **2**): dalla mutua induttanza creata dal fatto che il campo della bobina 1 taglia la bobina 2, nonchè dalla mutua induttanza dovuta al fatto che il campo della bobina 2 taglia la bobina 1.

Se invece le due bobine sono collegate in serie in modo che le correnti scorrano in senso opposto, i campi magnetici si oppongono analogamente, e l'induttanza totale L_t sarà data da:

$$L_t = L_1 + L_2 - 2M$$

Tale sistemazione delle bobine si chiama *collegamento sfavorevole in serie* (**figura 7-B**).

INDUTTANZA e CORRENTE ALTERNATA

Sappiamo che l'autoinduttanza di una bobina si oppone a qualsiasi variazione della corrente che la percorre. Appena l'interruttore del circuito di figura 4-A viene chiuso, la corrente non raggiunge immediatamente il suo valore massimo, nè scende immediatamente a zero appena viene aperto: si dice quindi che **in un circuito induttivo**, la corrente segue la tensione con un certo ri-

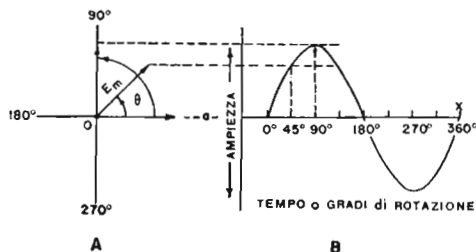



Fig. 8 — Rappresentazione vettoriale (in A) e con curva sinusoidale (in B) della corrente alternata. In A è raffigurato il vettore rotante solo durante il primo quarto di periodo.

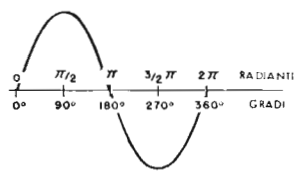



Fig. 9 — L'onda sinusoidale può essere espressa in « gradi » oppure in « radianti » (360° o 2π radianti, per un intero ciclo).

I E
0
C

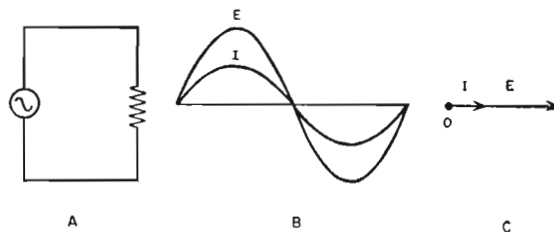



Fig. 10 — In un circuito con sola e pura resistenza (figura A), la tensione « E » e la corrente « I » sono sempre in fase (figura B). Anche il diagramma vettoriale (figura C) mostra tale situazione: i bracci di tensione e corrente sono, come si vede, in fase, vale a dire aumentano e diminuiscono contemporaneamente

tardo ossia **la tensione precede la corrente.**

Poichè tensione e corrente non sono al massimo valore contemporaneamente, si dice che sono **sfasate.** Prima di procedere oltre, è necessario rivedere quanto è stato detto a proposito della generazione di corrente alternata, della differenza di fase, del comportamento dimensionale delle tensioni e delle correnti.

La corrente alternata

La tensione (o la corrente) alternata — come ben sappiamo — inverte la propria direzione periodicamente, ossia parte da zero in una direzione, raggiunge il massimo valore positivo, ricade a zero e ripete il ciclo in senso negativo. Tale sequenza può essere compresa meglio, osservando la **figura 8.** La tensione alternata è rappresentata dalla linea sinusoidale per il tempo di 1 ciclo (360°), ed è indicata anche dal vettore *Em* sul diagramma vettoriale (figura 8-**A**).

Sappiamo che un vettore (vedi lezione 24ª) indica una quantità che, oltre ad avere una dimensione, ha anche una direzione, e che la lunghezza del vettore stesso indica la massima ampiezza della tensione. Se si fa ruotare il vettore con velocità costante per 360° in senso antiorario, la sua proiezione sull'asse verticale rappresenta i valori istantanei della tensione.

L'angolo presente tra il raggio orizzontale *Oa* ed il vettore rotante *Em* si chiama *angolo di fase*. Esso viene rappresentato dalla lettera greca θ. La proiezione del vettore sull'asse verticale — ossia, la lunghezza della perpendicolare tesa tra l'estremità del vettore stesso e l'asse orizzontale del grafico — rappresenta il valore istantaneo *e* della tensione in quel dato istante del ciclo.

Tale tensione istantanea è l'altezza di un triangolo rettangolo di cui il vettore *Em* è l'ipotenusa, e l'asse orizzontale del grafico la base. Perciò il valore istantaneo *e* è eguale a E_{max} volte il seno di θ. Abbiamo quindi:

$$e = E_{max} \text{ sen } \theta$$

La figura 8-A mostra il vettore rotante in tre posizioni durante il primo quarto del periodo. Le linee orizzontali sono tese verso la destra a partire dall'estremità di E_{max}, mentre quelle verticali sono tese verso l'alto a partire dalla scala orizzontale del tempo nella figura 8-**B**.

Se si segnasse in tal modo una linea per ogni grado dell'intero ciclo, e se si collegassero tutti i punti in cui le linee tratteggiate si incontrano, si otterrebbe la curva mostrata in figura 8-B, ossia una curva o onda sinusoidale. Questo è il motivo per cui un'onda sinusoidale può essere rappresentata da un vettore rotante.

È importante notare che un ciclo completo corrisponde ad una rotazione intera del vettore. Pertanto, la frequenza corrisponde alla velocità angolare del vettore stesso.

A volte si vedrà infatti, che la frequenza di un'onda sinusoidale (o la velocità angolare del vettore rotante equivalente) è espressa in radianti al secondo invece che in cicli al secondo o hertz.

Poichè 360° equivalgono a 2 π radianti, si potranno vedere onde sinusoidali espresse in radianti oppure in gradi come in **figura 9.**

REATTANZA INDUTTIVA

Corrente e tensione in fase

In un circuito a c.a. contenente resistenze pure (**figura 10-A**), la tensione e la corrente sono sempre in fase. La forma d'onda di tensione e corrente in fase è illustrata in figura **10-B.** Il diagramma vettoriale (figura **10-C**) mostra che i bracci di tensione e di corrente del vettore rotante sono sempre in fase, ossia aumentano e diminuiscono contemporaneamente e raggiungono insieme i valori di massimo e minimo.

Secondo l'uso, il vettore della corrente viene disegnato orizzontalmente in quanto il suo valore effettivo è costante in tutti i punti del circuito. Per questo motivo esso è usato come vettore di riferimento.

Relazioni di fase nei circuiti induttivi

Dal momento che in un circuito a c.a. la corrente subisce continue variazioni, in un'induttanza essa produce sempre un potenziale indotto che si oppone alle variazioni.

Se si applica ai capi di una bobina una tensione in aumento, la corrente tende ad aumentare; la f.e.m. opposta tende a contrastare tale aumento. Per questo *in una bobina la corrente aumenta dopo l'avvenuto aumento della tensione.*

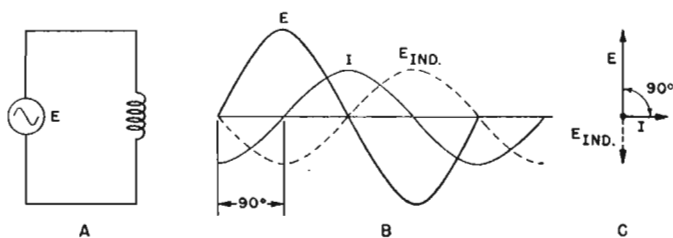



Fig. 11 — In un circuito con induttanza (figura A), la tensione « E » precede la corrente « I » (figura B); se si trattasse di induttanza pura la differenza sarebbe di un quarto di ciclo, ossia 90°. Nel diagramma vettoriale (figura C) è evidente tale sfasamento tra i due bracci. Nella realtà, data la presenza del fattore resistenza, lo sfasamento è sempre inferiore a 90°.

Fig. 12 — In un circuito con resistenza ed induttanza in serie (figura A) si devono sommare vettorialmente la tensione ai capi di R (che è in fase con la corrente) e la tensione ai capi di L (che è sfasata di 90°) per conoscere la tensione risultante « ET » (figura B).

Analogamente, quando la corrente diminuisce, la f.e.m. opposta indotta fa in modo che *la corrente stessa diminuisca in ritardo rispetto alla diminuizione della tensione*.

Da ciò si deduce che, come abbiamo detto nel capitolo precedente, in un circuito induttivo la corrente è in ritardo rispetto alla tensione. Se il circuito contenesse solo induttanza pura (**figura 11-A**), la corrente ritarderebbe in un quarto di ciclo, ossia 90°, rispetto alla tensione, come illustrato dalla figura **11-B.** Notare che la f.e.m. opposta ($E_{indotta}$) si oppone costantemente alla tensione applicata (E).

La corrente che percorre l'induttore non può raggiungere la tensione a causa della f.e.m. opposta. L'ampiezza di quest'ultima dipende dall'ammontare dell'induttanza del circuito e dal ritmo di variazione della corrente.

La figura **11-C**, mostra i vettori E ed I sfasati reciprocamente di 90°. Il vettore E è a 90° ed I è a 0°. (La corrente I, è espressa sull'angolo di riferimento 0° poichè, trattandosi di un circuito in serie, la corrente è eguale in ogni punto). In realtà il circuito della figura 11-A è immaginario poichè ogni induttore ha una certa resistenza che si trova in serie all'induttanza, per cui lo sfasamento tra tensione e corrente è sempre inferiore a 90°. Tuttavia, la figura è utile per esprimere le relazioni di fase in un circuito induttivo teoricamente puro, ossia privo di resistenza.

L'opposizione offerta da un avvolgimento al passaggio di corrente alternata si chiama **reattanza induttiva** X_L. Come la resistenza, viene misurata in ohm.

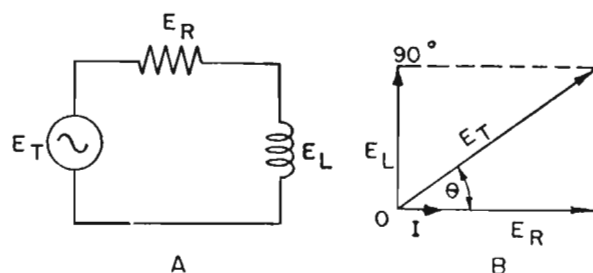
La corrente che scorre nel circuito della figura 11-A può essere determinata dalla equazione:

$$I = \frac{E}{X_L}$$

Si noti che tale equazione è analoga a quella della legge di ohm, ad eccezione del fatto che in luogo della resistenza si usa la reattanza.

L'ammontare della reattanza induttiva è proporzionale sia all'induttanza dell'avvolgimento, sia alla frequenza della corrente. L'equazione matematica che lo esprime è:

$$X_L = 2 \pi F L = \omega L$$

nella quale F è la frequenza in hertz, L l'induttanza in henry, e ω la lettera greca usata come simbolo per indicare il fattore $2 \pi F$.

La reattanza aumenta con l'aumentare della frequenza, poichè un aumento di quest'ultima corrisponde ad un maggior numero di variazioni di corrente, dalle quali dipende, a sua volta, la f.e.m. opposta.

RESISTENZA e INDUTTANZA in SERIE

Consideriamo ora un circuito a c.a., in serie, contenente sia resistenza che induttanza (**figura 12-A**). Ricordiamo che in un circuito in serie la corrente è eguale in tutti i punti. Pertanto, la corrente è eguale sia nella resistenza che nell'induttore.

Tuttavia, la tensione presente ai capi della resistenza è in fase con la corrente, mentre quella presente ai capi della bobina è fuori fase di 90° (in anticipo), per cui le cadute di tensione ai capi di entrambe sono reciprocamente sfasate di 90°, come illustrato in figura **12-B**.

Per determinare la tensione fornita dalla sorgente è necessario sommare le due tensioni vettorialmente a causa di detto sfasamento.

La caduta IR ai capi della resistenza è espressa in fase con la corrente vettore a 0°. La caduta ai capi della bobina, E_L, è espressa a 90° nel campo positivo (un quarto di periodo in senso antiorario) il che indica che essa è in anticipo di 90° rispetto alla corrente. Costruendo un parallelogramma come illustrato, si forma un triangolo rettangolo avente E_R come base, E_L come altezza, ed E_T, diagonale del parallelogramma, come ipotenusa. La tensione totale risultante viene determinata dall'equazione seguente (derivata dal noto teorema di Pitagora sul triangolo rettangolo):

$$E_T = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$$

L'angolo θ rappresenta la differenza di fase tra la tensione applicata, E_T, e la corrente del circuito: in un circuito contenente sia resistenza che reattanza induttiva, rappresenta l'angolo di ritardo, cioè il numero dei gradi di ritardo della corrente rispetto alla tensione. Più avanti vedremo che, in un circuito capacitivo, θ rappresenta un angolo di anticipo, ossia l'angolo col quale la corrente è in anticipo (anzichè in ritardo come avviene con l'induttanza) rispetto alla tensione.

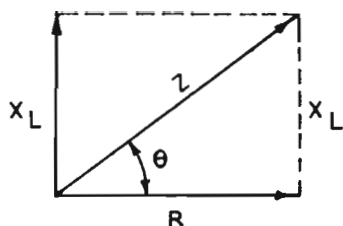



Fig. 13 — Gli effetti della resistenza e della « reattanza induttiva » possono essere espressi sotto forma di vettori; si ottiene il triangolo dell'impedenza ossia dell'opposizione totale alla corrente.

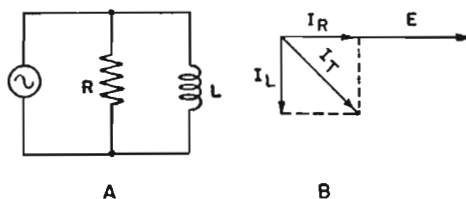



Fig. 14 — Se resistenza ed induttanza sono in parallelo (figura A) si ha come riferimento orizzontale del diagramma vettoriale (figura B) la tensione, in quanto essa è la stessa ai capi di ogni ramo del circuito. Il diagramma è relativo alla corrente « I » e dimostra il ritardo di 90° della corrente « IL » rispetto alla tensione « E ».

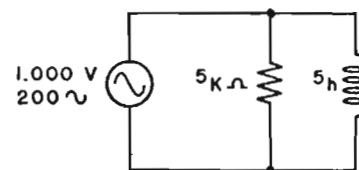



Fig. 15 — Il circuito della figura di fianco è qui preso ad esempio con determinati valori onde poter fare un esempio di calcolo per ricavare il valore di « XL », reattanza induttiva.

Conoscendo E_R ed E_l, è possibile determinare θ mediante la trigonometria, come segue:

$$t_g\,\theta = \frac{\text{lato opposto}}{\text{lato adiacente}} = \frac{E_l}{E_R}$$

Una volta trovato il valore di $t_g\theta$ si può trovare il valore dell'angolo con l'uso della tabella alla voce « tangenti ».

IMPEDENZA

Poichè qualsiasi bobina ha una sua resistenza, l'opposizione totale al passaggio della corrente in ogni circuito induttivo è una combinazione tra la resistenza e la reattanza induttiva. Entrambe queste opposizioni costituiscono l'opposizione totale o **impedenza** del circuito induttivo.

L'impedenza è rappresentata dal simbolo Z e viene espressa in ohm.

Gli effetti reattivi e resistivi non possono essere sommati aritmeticamente in quanto, come abbiamo testè visto, sono sfasati tra loro, per cui la somma deve essere calcolata vettorialmente.

Sebbene sia la resistenza che la reattanza induttiva siano quantità e non vettori, i loro effetti possono essere espressi sotto forma di vettori. Il motivo risiede nel fatto che essi rappresentano cadute di tensioni quando vengono moltiplicati per la corrente che scorre nel circuito. Essendo quest'ultima, I, comune ad entrambi, la si trascura, e sia X_l che R vengono espresse in un diagramma vettoriale ma senza frecce.

La **figura 13** illustra il triangolo dell'impedenza. R è in fase con la corrente, ed X_l costituisce l'altezza del triangolo rettangolo. L'impedenza è rappresentata dalla ipotenusa. Per cui:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_l^2}$$

Notare che l'angolo di fase di un circuito induttivo è un angolo positivo compreso tra 0 e 90°.

Poichè l'impedenza di un circuito rappresenta l'opposizione totale al passaggio della corrente, le relazioni tra tensione e corrente possono essere stabilite semplicemente dall'equazione:

$$I = E:Z$$

nella quale I è la corrente in ampère, E è la f.e.m. applicata, e Z è l'impedenza in ohm.

INDUTTANZA e RESISTENZA in PARALLELO

Come avviene nei circuiti a c.c., la tensione presente ai capi di ogni ramo di un circuito in parallelo a c.a. è la medesima. Perciò, in un circuito in parallelo la tensione applicata costituisce il riferimento orizzontale per un diagramma vettoriale, e le correnti sono rappresentate in senso orario o antiorario rispetto alla tensione.

La **figura 14-A** mostra un esempio di circuito contenente resistenza ed induttanza in parallelo. La sezione **B** della figura rappresenta un diagramma vettoriale delle correnti che percorrono tale circuito.

Il tratto che rappresenta la corrente che attraversa la resistenza, I_R, giace lungo il vettore della tensione, E, in quanto è in fase. La corrente che scorre attraverso l'induttanza, I_l, è rappresentata a 90° in senso orario in quanto è in ritardo di 90° rispetto alla tensione.

Si forma un triangolo rettangolo avente I_t come ipotenusa, e quindi si ha:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_l^2}$$

L'impedenza del circuito è determinata dalla seguente equazione:

$$Z = E:I_T$$

A questo punto effettuiamo un'analisi completa dello stesso circuito in parallelo ma riferendoci alla **figura 15**, ove abbiamo supposto R di 5.000 ohm, L di 5 henry, e l'uscita del generatore di 1.000 volt, a 200 hertz. Supponiamo di voler trovare X_l ed FP (fattore di potenza). Soluzione per X_l:

$$X_l = 2\pi FL$$

$$X_l = 2 \times 3.14 \times 200 \times 5 = 6.280 \text{ ohm}$$

È possibile convertire la formula polare dell'impedenza totale nelle sue coordinate rettangolari. Il risultato dà valori di R e di X_l, che, se collegati in serie all'alternatore (generatore della corrente), fanno in modo che quest'ultimo abbia il medesimo carico effettivo. Tale equivalenza di R e di X_l è nota come *circuito in serie equivalente* di un circuito in parallelo.

LE INDUTTANZE nella PRATICA

In questa parte del fascicolo, dedicata prevalentemente a lezioni di carattere pratico, esamineremo — sotto il citato profilo — quanto è stato argomento della lezione precedente. Osserveremo perciò le induttanze dal punto di vista pratico; vale a dire nelle loro caratteristiche di struttura, nel loro aspetto, nel loro progetto, nonchè nei loro vari sistemi costruttivi.

Intendiamo approfondire con ciò le cognizioni del lettore fino al punto di metterlo in grado, prima, di calcolare teoricamente, con sufficiente approssimazione, una induttanza, o una serie di induttanze, e, dopo, di realizzare le stesse anche se — occorre dirlo — nella pratica si ricorre quasi sempre a induttanze prefabbricate già disponibili in commercio. Inoltre, se così non è, i dati costruttivi vengono sempre esposti da chi presenta su una rivista o su un libro una descrizione che implichi la costruzione di una bobina di induttanza.

Iniziamo con una esposizione preliminare delle leggi, dei fenomeni e dei fattori che influenzano in modo notevole i criteri e i dati costruttivi.

L'EFFETTO PELLICOLARE

Come abbiamo visto precedentemente, la corrente continua si distribuisce in maniera uniforme attraverso la superficie della sezione trasversale di un conduttore, per cui la resistenza ohmica, ossia la resistenza alla c.c., è direttamente proporzionale alla resistenza specifica ed alla lunghezza, ed inversamente proporzionale alla superficie della sezione stessa.

Diversamente, la corrente alternata che scorre in un conduttore incontra un secondo tipo di resistenza (che non deve essere confusa con la reattanza), determinata dalle correnti parassite e dall'**effetto pellicolare.** L'effetto pellicolare — detto anche « *effetto Joule* » dal nome del fisico che lo scoprì — consiste nel fatto che la corrente alternata tende a percorrere la superficie esterna del conduttore, evitando di passare per la parte centrale. In altre parole, un conduttore percorso da corrente alternata potrebbe avere una sezione tubolare invece che piena, in quanto il metallo costituente la parte centrale, e che non è presente nella sezione tubolare, non viene percorso dalla corrente, e non contribuisce al passaggio della stessa. Ne deriva che la resistenza ohmica opposta da detto conduttore non può più essere calcolata solo in base alla sua resistenza specifica, bensì anche e soprattutto, in base alla frequenza della corrente alternata stessa. Ciò è una conseguenza del fatto che l'effetto pellicolare si manifesta in modo tanto più pronunciato quanto maggiore è la frequenza.

Questo è il motivo per cui alcune induttanze — destinate a funzionare con correnti notevoli e frequenze molto elevate — sono realizzate con un vero e proprio tubo di rame, esternamente ricoperto di argento. In questo caso il tubo fa a sua volta da supporto e partecipa in realtà in maniera limitata al funzionamento, perchè le correnti scorrono per lo più nello strato di argento depositato sulla superficie esterna del conduttore.

Un secondo sistema atto ad ovviare all'inconveniente delle correnti Joule, e che si è dimostrato di tale utilità da essere utilizzato per la fabbricazione della maggior parte delle induttanze nell'industria elettronica, consiste nel realizzare la sezione totale necessaria del filo, non con un conduttore unico, bensì con numerosi conduttori affiancati e isolati tra loro, aventi una sezione tale che la somma di tutte le loro sezioni corrisponda al valore necessario per una data applicazione.

Il filo così costituito prende il nome di **filo Litz.** Esso si presenta come un comune conduttore in rame smaltato, ricoperto ulteriormente di seta o di cotone, avente però evidentemeste una flessibilità molto maggiore di quella di un conduttore di rame singolo di analoga sezione. Togliendo un po' del rivestimento esterno, si potrà notare che la parte metallica è costituita da diversi conduttori, generalmente in numero variabile da 10 a 40, ciascuno dei quali ha una sezione minima, anch'essa variabile da 0,003 a 0,006 mm, e tutti ricoperti di smalto onde evitare il diretto contatto reciproco. Questo tipo di filo viene individuato nelle diverse combinazioni di conduttori secondo le quali è posto in commercio, appunto con denominazioni come $20 \times 0{,}04$, $25 \times 0{,}03$ ecc. che stanno ad indicare rispettivamente il numero e la sezione dei fili componenti.

Il funzionamento del filo Litz è del tutto intuitivo: ognuno dei componenti si comporta come un singolo conduttore costituente una induttanza. Tutte le induttanze così costituite, dal momento che i rispettivi terminali sono saldati insieme, risultano collegate in parallelo e strettamente accoppiate dal punto di vista induttivo, per cui, in pratica, formano una sola induttanza. In realtà l'effetto pellicolare si manifesta in ciascuna di esse però, sommando le superfici *esterne* di ogni singolo conduttore percorso dalla corrente, si ottiene un valore notevolmente superiore a quello di un conduttore singolo di sezione analoga; tutto ciò consente infatti di ottenere una

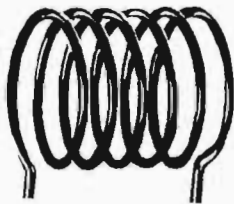



Fig. 1 — Tipo di induttanza a solenoide, per onde corte. È caratterizzato da minima perdita in quanto il conduttore è avvolto « in aria »; a volte viene saldato direttamente ai componenti ai quali deve essere collegato.

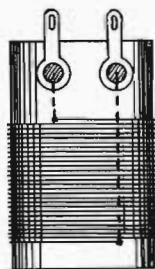



Fig. 2 — Quando occorrono molte spire si adotta un supporto e, se il conduttore è isolato, si possono avvolgere le spire anche affiancate, a contatto tra loro.

Fig. 3 — Avvolgimento a spire spaziate su supporto poligonale.

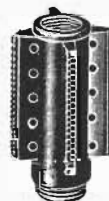



Fig. 4 — Supporto in bachelite stampata (a volte, anche in ceramica) che consente di realizzare bobine per onde corte con nucleo magnetico.

Fig. 5 — Supporti in bachelite; sul primo è visibile un avvolgimento del tipo detto a « nido d'ape »; il secondo supporto presenta una scanalatura a spirale per accogliere il filo.

minore resistenza ohmica — e quindi un rendimento più elevato — senza variare eccessivamente le dimensioni.

Una delle difficoltà che si manifestano nell'uso del filo Litz consiste nella saldatura dei suoi capi terminali. Onde poter sfruttare completamente le caratteristiche di questo conduttore, è assolutamente indispensabile che tutti i suoi fili componenti vengano accuratamente saldati insieme ad ogni capo dell'induttanza; l'esclusione di uno solo di essi può essere causa di un risultato completamente diverso e inferiore a quello previsto.

Nei casi in cui il filo è composto da conduttori da 0,003 mm, ad esempio, non è facile privarli dello smalto uno alla volta e poi saldarli senza romperli; sono stati escogitati vari sistemi più pratici e veloci che non l'operazione fatta a mano per ogni singolo conduttore. Uno dei sistemi più semplici consiste nel rendere incandescente l'estremità del conduttore e nell'immergerlo immediatamente dopo in alcool, prima che si raffreddi. In tal modo i rivestimenti di smalto vengono distrutti, ed il filo si presenta sufficientemente pulito per essere saldato. Questo metodo offre però l'inconveniente della probabile rottura e fusione di qualche conduttore, per cui l'operazione deve essere effettuata con la massima cura, ed il risultato può essere considerato abbastanza sicuro solo dopo che l'operatore ha acquistato una pratica notevole.

Un secondo sistema consiste nell'uso di speciali sostanze acide, disponibili in commercio, nelle quali viene immerso il terminale da saldare dopo essere stato privato del rivestimento di seta o cotone. I vari conduttori vengono aperti a ventaglio, ed immersi nella sostanza, la quale, dopo pochi minuti, stacca completamente il rivestimento di smalto che può così essere asportato mediante un panno asciutto. Questo sistema è il più pratico e quello che dà maggiori garanzie di successo ad un principiante.

Le correnti « parassite » precedentemente citate, non sono che deboli correnti indotte nel conduttore ad opera della corrente originale e sono in opposizione di fase con quest'ultima. Esse costituiscono quindi una perdita di potenza e, in effetti, possono essere considerate come una resistenza posta in serie al circuito. In particolare, allorchè si tratta di induttanze avvolte su nuclei di materiale magnetico, le correnti inducono altre correnti parassite in questo materiale; questo è il motivo per cui detti nuclei sono spesso costituiti da lamierini sottili ed isolati tra loro mediante strati di carta o di ossido che impediscono la circolazione delle correnti indotte.

TIPI di INDUTTANZE

Innanzitutto le induttanze possono essere distinte in *fisse* e *variabili*. Le prime hanno un valore determinato dalle caratteristiche costruttive che sono stabili sotto ogni aspetto; le seconde hanno invece un valore induttivo che può essere variato in diversi modi.

Un'altra suddivisione che permette di distinguere le induttanze tra loro è quella riferita al nucleo. Esistono infatti induttanze con nucleo cosiddetto *ad aria* in quanto sono avvolte su un supporto di materiale isolante internamente vuoto oppure, allorchè la rigidità del conduttore lo permette, addirittura senza supporto. Altri tipi, come abbiamo più volte ripetuto, sono provvisti di un *nucleo di materiale magnetico* (che può essere un impasto di materiale isolante e polvere di ferro, oppure ferrite o ferroxcube, dei quali a suo tempo ci occuperemo). Altri tipi ancora sono avvolti su nuclei di ferro al silicio, laminato. I primi due tipi vengono utilizzati per il funzionamento con frequenze elevate, a partire ad esempio da 50 kHz in su, mentre il terzo tipo viene utilizzato esclusivamente per il funzionamento con le frequenze della rete di distribuzione della corrente alternata, e con le frequenze acustiche, comprese cioè tra 16 e 20.000 Hz.

Le induttanze variabili possono essere tali in virtù delle caratteristiche elettriche e meccaniche che permettono di modificarne il valore induttivo. Uno dei sistemi per ottenere tale variazione potrebbe consistere, ad esempio, nel variare la distanza tra le spire. Una bobina infatti, costituita da un conduttore rigido, avvolto a spirale come una comune molla, potrebbe essere variata nel suo valore induttivo tendendola più o meno; la variazione in tal caso sarebbe dovuta evidentemente al diverso grado di accoppiamento tra le linee di forza determinate dalle singole spire; il sistema non è però adottato perchè poco pratico ai fini realizzativi.

Un altro sistema di variazione, già citato ed a noi noto, consiste nel praticare lungo l'avvolgimento varie prese alle quali è possibile collegare, mediante saldatura o mediante semplice contatto a morsetto, i vari fili di collegamento. È ovvio che, in tal modo, a mezzo delle prese,

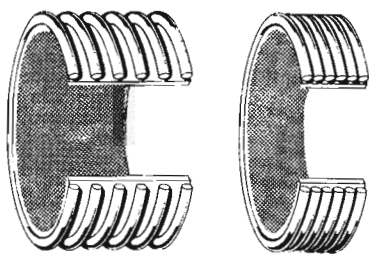



Fig. 6 — Anche con supporto, se di ceramica, si realizzano bobine per frequenze elevate: possono essere a spire distanziate (conduttore nudo) o a spire affiancate (conduttore isolato).

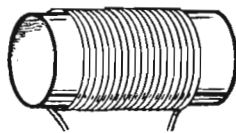



Fig. 7 — Per il collegamento con il circuito ci si può servire del conduttore stesso che serve ad avvolgere la bobina.

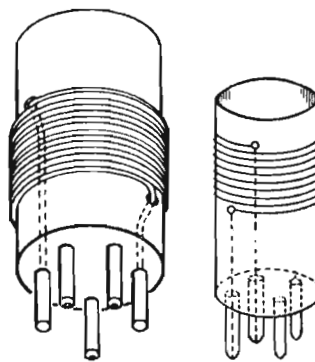



Fig. 8 — Tipi di bobine realizzati su supporti muniti di piedini che si innestano in uno zoccolo.

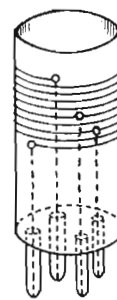



Fig. 9 — Bobina su supporto a piedini (per intercambiabilità), dotata di due prese.

una bobina può essere utilizzata per tutta la sua induttanza o per parte di essa.

Infine un ultimo sistema — che è in particolare il più usato grazie alla sua praticità ed alla sua sicurezza — è quello di variare il valore induttivo introducendo più o meno un nucleo di materiale magnetico. Su questo principio si basano per la maggior parte le induttanze variabili utilizzate nei circuiti radio ed elettronici in genere. La variazione è dovuta evidentemente al diverso grado di permeabilità, la quale è minima allorchè il nucleo è completamente estratto, e massima allorchè è invece completamente inserito.

INDUTTANZE per ALTE FREQUENZE

Seguiremo un certo ordine logico e cronologico nell'esaminare le diverse induttanze, riferendoci alle varie fasi evolutive, attraverso il tempo.

La **figura 1** illustra il tipo più semplice di bobina, tipo che noi già conosciamo nel suo aspetto. Essa è costituita da un conduttore rigido ed è avvolta, in fase costruttiva, su un corpo qualsiasi di forma cilindrica, avente le dimensioni predeterminate; in seguito viene estratta per essere fissata su un supporto adatto al collegamento. Questo tipo di bobina, detto « in aria », può essere ad induttanza fissa o variabile: nel secondo caso, è possibile variarne il valore col metodo delle prese. Come vedremo in seguito, questo tipo di induttanza viene utilizzato per il funzionamento su frequenze elevate, ossia per le gamme delle onde corte, cortissime ed ultracorte. Spesso è realizzato con filo di rame argentato o addirittura in tubo di rame argentato, a seconda della frequenza e dall'ammontare della corrente che lo percorre. Uno dei vantaggi che offre consiste nel fatto che la sua naturale rigidità ne consente il fissaggio diretto mediante saldatura dei terminali sugli altri componenti con i quali deve essere in collegamento.

La **figura 2** illustra un altro tipo, detto « induttanza cilindrica » o solenoide. Essa è praticamente eguale a quella testè vista e differisce soprattutto per l'isolamento delle spire e la presenza di un completo supporto.

Consiste in un conduttore di rame smaltato e ricoperto di seta o di cotone, avvolto in spire affiancate su un supporto isolante. Il valore induttivo è naturalmente determinato, come in ogni caso, dal numero delle spire, dalla sezione del conduttore, dal diametro dell'avvolgimento, dalla sua lunghezza, nonchè dalla distanza tra le spire e dal grado di permeabilità del nucleo, che, in questo caso è l'aria.

La forma del supporto sul quale la bobina è avvolta non deve essere necessariamente cilindrica. La **figura 3** illustra appunto un'altra esecuzione, ove si ha un avvolgimento su un supporto di forma poligonale; anche la **figura 4** illustra un supporto sul quale l'avvolgimento assume una forma diversa da quella cilindrica. La forma cilindrica però viene adottata quasi sempre, per la sua semplicità. Il materiale costituente il supporto, può essere di vario genere. Esistono infatti, bobine avvolte su tubo di cartone bachelizzato, o di bachelite stampata (vedi **figura 5**), o di ceramica o steatite, detta altrimenti « frequenta ». I tipi illustrati nelle figure 3, 4, **6** e **6 bis** vengono generalmente utilizzati per le bobine adatte al funzionamento su frequenze elevate, e ciò in quanto sia la ceramica che la « frequenta » o ancora il polistirolo, hanno caratteristiche magnetiche e di igroscopicità tali da consentire un minimo di perdite dovute al supporto.

Le bobine cilindriche si presentano con vari aspetti, in quanto possono essere munite di pagliette terminali per l'ancoraggio dei collegamenti relativi (figura 2), oppure i conduttori stessi costituenti gli avvolgimenti possono prolungarsi esternamente alla bobina onde consentire l'allacciamento ai circuiti in cui vengono utilizzate (**figura 7**).

Esistono tipi di bobine dette « intercambiabili », attualmente in uso solo sui trasmettitori o in altri apparecchi del tutto particolari, nelle quali il supporto è montato su di uno zoccolo munito di piedini (**figura 8**). In tal modo è possibile estrarre la bobina dal portazoccolo al quale fanno capo i vari collegamenti al circuito, e sostituirla con altra che, pur rispettando detti collegamenti, abbia però caratteristiche elettriche diverse, tali cioè da consentire il funzionamento su altre frequenze.

A questo punto è opportuno specificare che la bobina, comunque essa sia, non deve essere necessariamente costituita da un unico avvolgimento.

Sappiamo che l'avvolgimento, oltre ad avere un principio ed una fine, può presentare una o più prese intermedie: in questo caso la bobina già assume in effetti l'aspetto di due o più bobine (a seconda del numero delle prese) avvolte sul medesimo supporto e collegate rispettivamente in serie (**figura 9**).

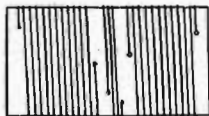



Fig. 10 — Tre bobine distinte su di un unico supporto (trasformatore di A.F.).

Fig. 11 — Bobine analoghe alle precedenti ma su due supporti concentrici.

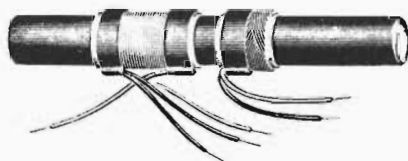



Fig. 12 — L'accoppiamento tra due diverse bobine può essere variato rendendo scorrevole sul supporto uno degli avvolgimenti. Tutto il supporto può essere in materiale ferromagnetico (per A.F.) e ciò favorisce rendimento ed accoppiamento.

Fig. 13 — Nuclei e supporti (figura 13 bis) in materiale ferromagnetico atti all'impiego con diversi tipi di bobine: il primo illustrato, ad esempio, può essere usato col supporto di figura 4.

Un'altra frequente alternativa è illustrata alla **figura 10.** Qui, sul medesimo supporto, vi sono due o più avvolgimenti — isolati tra loro — nel qual caso si ha evidentemente un trasformatore per Alta Frequenza. Come è noto, la corrente che percorre uno di essi determina tensioni indotte negli altri avvolgimenti accoppiati induttivamente, con un rapporto di trasformazione proporzionale al rapporto tra le spire. In questo caso, ricordiamo, vi è sempre un avvolgimento primario che induce tensione, e quindi corrente, nello o negli altri avvolgimenti.

Un'altra caratteristica della bobina cilindrica è che — allorchè il numero delle spire è elevato — allo scopo di evitare una lunghezza eccessiva dell'intero avvolgimento, o quanto meno un diametro eccessivo dello stesso, è possibile avvolgere il conduttore in due o più strati sovrapposti. La **figura 11** illustra appunto una bobina di questo tipo; è facile notare che l'avvolgimento a strati sovrapposti è completamente separato dall'altro avvolgimento, al quale è accoppiato per via induttiva.

Quando una induttanza è provvista di vari avvolgimenti, il grado di accoppiamento tra di essi varia col variare della distanza che li separa in maniera inversamente proporzionale: in altre parole l'accoppiamento è tanto più stretto quanto minore è la distanza. Ciò può permettere un certo grado di variabilità, per cui esistono bobine, come quella illustrata nella **figura 12,** nelle quali uno degli avvolgimenti è avvolto su un secondo supporto, normalmente costituito da una striscia di cartoncino avvolta ad anello, che scorre sul supporto principale. In fase di messa a punto, una volta trovata sperimentalmente la distanza ideale, si ferma la parte mobile mediante poche gocce di cera o di vernice.

Le bobine possono raggiungere un elevato grado di variabilità nel loro valore, grazie all'uso dei nuclei ferromagnetici. Questi ultimi sono costituiti, come si è detto, da un impasto di sostanze isolanti che agiscono da « legante » nei confronti della polvere di materiale magnetico, e possono avere varie forme; la **figura 13** ne illustra due tipi tra i più comuni. Generalmente i nuclei sono filettati sulla superficie esterna, il che permette di avvitarli all'interno della bobina, il cui supporto è filettato in corrispondenza. Esistono nuclei di tale tipo, che portano alle estremità un taglio lungo il diametro, nel quale è possibile inserire la lama di un cacciavite onde provvedere alla regolazione. Altri presentano invece una sporgenza a sezione quadrata o esagonale, per la cui regolazione occorrono speciali chiavi appositamente sagomate.

Per ultimo, citeremo un tipo di bobina con variazione di induttanza ancora più ampia. Esso venne utilizzato — secondo una tecnica costruttiva pressocchè abbandonata — per i circuiti di ingresso di apparecchi radio. Ricordando che tutte le bobine dotate di nucleo per la regolazione vengono denominate « a permeabilità variabile » (grazie alla variazione della permeabilità dovuta alla maggiore o minore introduzione del nucleo stesso) diremo che le ultime di cui si è fatto cenno sono ad ampia variabilità. La variazione, in effetti, può essere estesa entro limiti talmente distanti da coprire una intera gamma d'onda (ad esempio, la gamma delle onde medie). In questo caso il nucleo non è filettato: mentre la bobina ed il suo supporto sono fisse e stabili, il nucleo viene spostato da un congegno azionabile dall'esterno a mezzo della manopola di sintonia. Il nucleo ha, per tali impieghi, generalmente una forma cilindrica e lunga, paragonabile a quella di una matita.

I recenti progressi conseguiti nel campo dei piccoli apparecchi radio, specie di quelli di formato tascabile, hanno determinato lo sviluppo di un altro tipo di induttanza, quello illustrato nella **figura 14.** Si tratta di bobine che, essendo avvolte su di un nucleo di « ferrite », di forma piatta ed allungata, non hanno la forma convenzionalmente cilindrica. Ciò non toglie però che esistano induttanze del tutto analoghe, avvolte su nuclei del medesimo materiale e di forma cilindrica. In questo caso il diametro del nucleo si aggira intorno ai 10 mm e la lunghezza va da 10 a 20 centimetri (**figura 15**). Queste induttanze fungono nello stesso tempo da bobine d'accordo (ossia sintonizzabili, a mezzo condensatore variabile) e da mezzo captatore (antenna) dato il loro sviluppo relativamente ampio. Con il loro impiego si nota uno spiccato effetto direttivo nei riguardi delle radio-onde captate, nel senso che se la bobina è diretta verso l'emittente l'energia captata è minima, mentre è massima se viene ruotata di 90° rispetto a tale posizione.

L'ultimo tipo di bobina che è necessario citare in quanto è quello più comunemente adottato nella maggior parte dei casi, è il tipo cosiddetto a nido d'ape.

La **figura 16** ne illustra un esemplare; è facile dedurre le ragioni che ne hanno determinato il nome. Queste bobine vengono avvolte con una macchina speciale che — durante la rotazione del supporto necessaria per effettuare l'avvolgimento stesso — sposta ritmicamente il

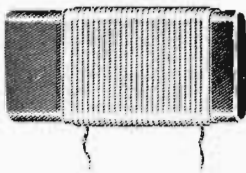



Fig. 14 — Bobina a forma piatta, avvolta su speciale supporto di « ferrite »: è usata in ricevitori portatili, anche come antenna.

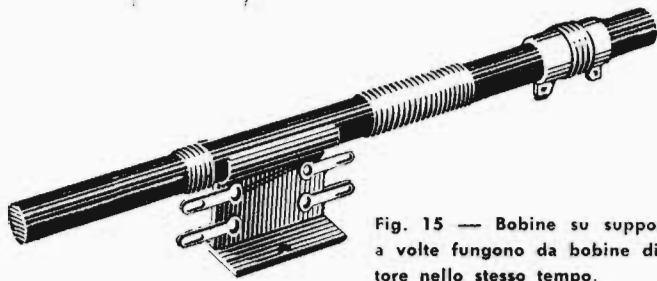
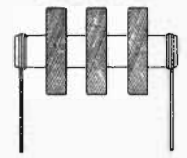



Fig. 15 — Bobine su supporto di « ferrite » cilindrico: a volte fungono da bobine di accordo e da mezzo captatore nello stesso tempo.

Fig. 16 — Due avvolgimenti del tipo detto a « nido d'ape »: in uno spazio ristretto è possibile con questo tipo di bobina realizzare un alto valore induttivo.

Fig. 17 — Le bobine a « nido d'ape » sono spesso usate come impedenze di Alta Frequenza: eccone una, a tre sezioni, avvolta su supporto ceramico.

filo da un'estremità all'altra della bobina in modo da ottenere un avvolgimento a spire incrociate con un passo determinato a priori. Il vantaggio delle bobine a nido d'ape, generalmente realizzate con filo del tipo Litz, consiste nel fatto che, con un minimo ingombro, è possibile ottenere alti valori induttivi di avvolgimenti, caratterizzati anche da un rendimento notevole, vale a dire quindi da minime perdite.

La bobina a nido d'ape viene impiegata nei circuiti sintonizzati di apparecchi radio nelle gamme delle onde medie e lunghe, nonchè come impedenza per Alta Frequenza. In tutti quei casi, cioè, in cui il numero delle spire è piuttosto elevato. La **figura 17** illustra un tipo di impedenza per Alta Frequenza, del cui funzionamento ci occuperemo più avanti.

FATTORE di MERITO

Il fattore di merito, o « Q » di una bobina, è dato dal rapporto tra la sua reattanza induttiva X_l (ossia $2 \pi f L$) e le sue perdite, dovute alla resistenza ohmica R, ossia:

$$Q = X_l : R$$

È difficile determinare il fattore di merito con sufficiente esattezza in fase di calcolo, tuttavia sono normalmente note le caratteristiche che una bobina deve avere onde presentare un Q elevato.

L'avvolgimento deve avere il massimo diametro; la lunghezza non deve essere nè inferiore alla metà, nè superiore al doppio del diametro. Lo spessore del supporto, il cui materiale, per quanto isolante, è sempre causa di perdite, dovrà essere del pari il minimo possibile. Ovviamente, da questo punto di vista le bobine migliori sono quelle « in aria ».

Oltre a ciò, il diametro del conduttore dovrà essere il massimo possibile, compatibilmente con le esigenze dimensionali della bobina, ossia con la possibilità di alloggiare il numero di spire calcolato — come vedremo tra breve — nella lunghezza stabilita e con spaziatura tra le spire inferiore al diametro del filo stesso.

Allorchè la sezione del conduttore, la lunghezza dell'avvolgimento, la distanza tra e spire e la natura del supporto sono ideali, il Q della bobina varia approssimativamente col quadrato del diametro.

Nel caso di bobine funzionanti su frequenze molto elevate (onde corte), si preferisce impiegare il filo rigido, e la bobina è solitamente del tipo cilindrico ad un solo strato. Se le spire sono spaziate tra loro si può impiegare un conduttore nudo o argentato, mentre se esse sono affiancate, l'isolamento di smalto — o meglio ancora di seta o di cotone — è indispensabile ad evitare cortocircuiti tra le spire.

Nel caso invece di bobine funzionanti su frequenze relativamente basse (onde lunghe, e medie), si usa generalmente il filo Litz, e l'avvolgimento viene eseguito, come già si è detto, nel tipo a nido d'ape.

Agli effetti del fattore di merito, è della massima importanza che le bobine siano protette contro l'umidità, mediante l'immersione in una speciale vernice anigroscopica, e ciò è particolarmente necessario se il conduttore è rivestito di seta o di cotone.

Il Q dell'induttanza ha importanza notevole nel determinare, in un circuito accordato, la *larghezza di banda*.

La larghezza di banda di un circuito risonante è definita come la gamma di frequenze entro la quale la tensione presente ai capi del condensatore variabile di sintonia (ossia alle estremità della bobina), non cade al di sotto del 70,7% del valore corrispondente alle condizioni di risonanza. Essa è determinata dal Q del circuito, secondo le relazioni:

$$Q = \frac{F_r}{F_s - F_i}$$

e

$$\text{larghezza di banda} = \frac{F_r}{Q}$$

nelle quali F_r = frequenza di risonanza, F_i = frequenza inferiore, alla quale il valore della tensione si riduce al 70,7% del valore a risonanza, F_s = frequenza superiore alla quale il valore della tensione si riduce al 70,7% del valore a risonanza, ed $F_s - F_i$ = larghezza di banda.

CALCOLO PRATICO di una BOBINA

Abbiamo già considerato il fatto che — per ovvie ragioni — il radioamatore raramente costruisce da sè le varie parti che compongono l'apparecchiatura che desidera realizzare, come ad esempio condensatori, resistenze, bobine ecc. Tuttavia può a volte verificarsi l'oppor-

Diametro filo mm	Spire per cm (Avvolgimento serrato)	
	filo smaltato	2 cop. cotone
1,30	7,5	6,5
1	9,4	8
0,8	12	11
0,6	15	12
0,5	18,5	14
0,4	23	17
0,32	29	20
0,22	40	23
0,20	45	26
0,16	57	28

Fig. 18 — Tabellina utile per il calcolo del numero di spire contenuto nello spazio di 1 cm lineare, a seconda del tipo di filo adottato. Può servire anche, come nell'esempio del testo, per scegliere il filo in base allo spazio disponibile ed al numero di spire necessario.

tunità di avvolgere una bobina, o di modificarne una già esistente al fine di ottenere l'induttanza o altre caratteristiche necessarie per un compito specifico.

Fortunatamente ciò non è difficile una volta conosciuti i problemi che si possono incontrare.

Il sistema di calcolo che stiamo per esporre si riferisce esclusivamente alle bobine cilindriche ad un solo strato, in quanto le bobine a nido d'ape sono difficilmente realizzabili a mano, e d'altra parte esse sono in commercio in un numero di tipi tale da soddisfare qualsiasi esigenza d'amatore, sia tecnica che economica.

Esistono varie formule per il calcolo di una bobina: alcune sono molto esatte ed altrettanto complesse. Altre invece sono forse meno precise, ma la possibilità di intervenire in seguito con piccole modifiche al fine di correggere gli eventuali errori, nonchè la notevole semplicità del calcolo, compensano largamente tale inferiorità. Prenderemo in considerazione solo queste ultime.

Le caratteristiche più importanti di una bobina sono: **l'induttanza** (in microhenry, nei correnti impieghi in radiotecnica), **le dimensioni** meccaniche (in millimetri), **la resistenza ohmica** (in ohm), ed **il fattore di merito** Q.

Sebbene qualsiasi valore di induttanza possa essere ottenuto in determinate dimensioni bisogna subito premettere che le perdite aumentano col diminuire delle dimensioni stesse, per cui le proprietà ora citate devono essere viste unitamente.

Il primo passo da compiere per calcolare una bobina d'accordo consiste *nello stabilire il valore dell'induttanza*, la quale dipende dalla gamma di frequenze sulle quali essa deve funzionare, e dalla capacità del condensatore variabile collegato ad essa in parallelo al fine di esplorare la gamma considerata. Ovviamente, nel caso che la bobina debba funzionare su un'unica frequenza, la capacità non dovrà più essere variabile.

Il vero e proprio calcolo del valore induttivo necessario per una data caratteristica di funzionamento sarà oggetto di una delle prossime lezioni ove ci occuperemo esplicitamente dei circuiti risonanti; per il momento esula dal nostro compito. Accontentiamoci dunque di sapere come, conoscendo a priori il valore induttivo, sia possibile — mediante un semplice calcolo — ricavare il numero delle spire che la bobina deve avere, in base alle altre caratteristiche meccaniche, per corrispondere alle esigenze di progetto.

In linea di massima, la tecnica moderna si orienta verso le minime dimensioni di ingombro delle induttanze, specie in conseguenza del fatto che tutti gli altri componenti tendono a loro volta a diventare sempre più piccoli. Le uniche bobine che fanno eccezione a questa regola sono quelle che il lettore avrà occasione di impiegare per la costruzione di apparecchi trasmittenti.

Forniremo comunque un esempio di calcolo di una bobina di dimensioni medie. Supponiamo allora che il diametro debba essere di 38 mm, e che la lunghezza dell'avvolgimento non debba superare i 50 millimetri. Tali dimensioni vengono scelte arbitrariamente, in funzione soprattutto della disponibilità di spazio nell'apparecchio che si desidera realizzare. Supponiamo inoltre, che l'induttanza della bobina che dobbiamo realizzare sia di 185 μH.

A questo punto conosciamo il valore induttivo (L), il raggio della bobina (r), pari a metà del diametro, ossia 19 mm, e la lunghezza dell'avvolgimento (l), pari a 50 millimetri.

La formula che segue, esprime appunto l'induttanza in funzione degli altri valori a noi noti:

$$L = \frac{r^2 N^2}{(228.6 \times r) + (254 \times l)}$$

nella quale N^2 rappresenta il quadrato del numero delle spire.

Poichè quest'ultimo fattore è quello di cui dobbiamo conoscere il valore numerico, mediante alcuni semplici passaggi algebrici la formula può essere trasformata in modo da esprimere il numero delle spire in funzione degli altri valori noti, come segue:

1) eliminando il denominatore della frazione che costituisce il secondo membro della equazione, si ha:

$$L\ (228.6\ r + 254\ l) = r^2\ N^2$$

2) poichè il primo membro dell'equazione è uguale al secondo, il secondo è uguale al primo per cui essa può essere trascritta come segue:

$$r^2\ N^2 = L\ (228.6\ r + 254\ l)$$

3) a questo punto possiamo isolare il fattore N^2, portando r^2 come denominatore al secondo membro, per cui l'equazione diventa:

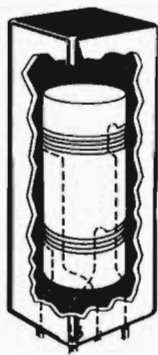



Fig. 19 — Bobina racchiusa in apposito contenitore a effetto schermante.

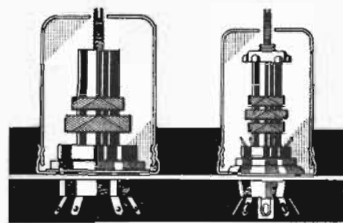



Fig. 20 — Altre bobine (trasformatori di A.F.), a nido d'ape, entro schermo metallico, con accesso al nucleo ferromagnetico di taratura.

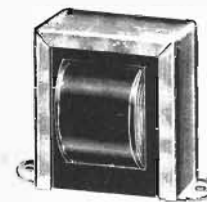
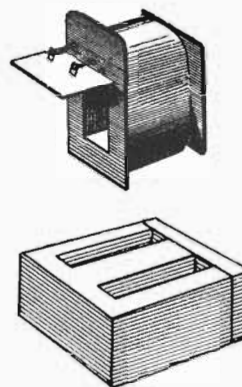



Fig. 21 — Impedenze per Bassa Frequenza. A sinistra l'impedenza è raffigurata nei suoi elementi: « carcassa » con avvolgimento e « pacco lamellare ».

$$N^2 = \frac{L\ (228{,}6\ r + 254\ l)}{r^2}$$

4) infine, estraendo la radice quadrata sia dal primo che dal secondo membro, avremo la formula che esprime il valore di N, ossia del numero delle spire.

$$N = \sqrt{\frac{L\ (288{,}6\ r + 254\ l)}{r^2}}$$

Se in quest'ultima formula sostituiamo alle lettere r ed l i rispettivi valori numerici, non ci rimane che eseguire le operazioni necessarie per ricavare N, per cui

$$N = \sqrt{\frac{185\ (288{,}6 \times 19 + 254 \times 50)}{19^2}}$$

Eseguendo ora le moltiplicazioni interne alla parentesi tonda, si ha:

$$N = \sqrt{\frac{185\ (4.343.4 + 12.700)}{19^2}} \quad \text{ossia} \quad = \sqrt{\frac{185\ .(17.043.4)}{361}}$$

$$\text{ossia} \quad = \sqrt{\frac{3.153.029}{361}} \quad \text{ossia} \quad = \sqrt{8.734}$$

In quest'ultimo valore sono state volutamente trascurate le cifre decimali al di là della virgola, in quanto la loro omissione non pregiudica in modo apprezzabile la precisione del risultato.

A questo punto non ci rimane che consultare una comune tavola numerica, onde trovare il numero che, con la maggiore approssimazione possibile, costituisca la radice quadrata del numero 8.734. Troviamo infatti che la radice quadrata di 8.649 (il numero più prossimo al nostro), è 93.

Il numero delle spire della bobina da noi calcolata è dunque:

$N = 93$ con sufficiente approssimazione.

Una volta noti i valori di induttanza, diametro, lunghezza dell'avvolgimento e numero delle spire, non resta che stabilire il diametro del conduttore, dopo di che si può procedere alla realizzazione.

Il diametro del conduttore è di importanza relativa agli effetti dell'induttanza, dato che le correnti che percorrono la bobina — in linea di massima — sono di entità trascurabile. Ciò che conta invece è che la distanza tra le spire sia costante in caso di spire spaziate, o che queste ultime siano perfettamente affiancate.

Notiamo che il nostro rapporto 93:5 (ossia 93 spire diviso 5 cm) corrispondente ad un fattore di 18,6 spire per centimetro, si avvicina a 18,5 nella colonna del filo smaltato, ed a 20 nella colonna del filo con doppia copertura di cotone, nella tabellina di **figura 18**.

Tra l'altro precisiamo che pubblicheremo una versione molto più completa e dettagliata di tale tabella allorchè ci occuperemo del calcolo e della realizzazione dei trasformatori.

I valori, nel nostro caso, corrispondono pertanto ad un conduttore del diametro di 0,5 mm se smaltato, e di 0,32 mm se ricoperto di cotone.

Nel caso di bobine per onde corte, nelle quali le spire sono avvolte con un conduttore di grande sezione e sono spaziate tra loro, conviene sempre trovare una via di mezzo tra la sezione del conduttore e l'effettivo coefficiente spire/cm. Ciò consentirà di stabilire con sufficiente esattezza la spaziatura necessaria tra le spire.

Sapendo, ad esempio, che le spire devono essere in numero di 5 per ogni centimetro di lunghezza, si potrà avvolgere un conduttore smaltato da 1 mm di diametro, spaziando le spire di 1 mm tra loro.

SCHERMATURA delle BOBINE

Come si è detto all'inizio di questa lezione ed in altri casi, ogni bobina funzionante è circondata da un campo magnetico da essa generato, che può influenzare altri componenti del circuito che si trovino in prossimità. Analogamente, essa stessa può essere influenzata da campi magnetici alternati ad essa prossimi. Per questo motivo, in molti casi, è opportuno racchiudere la bobina entro scatole metalliche cilindriche o quadrate che costituiscono il cosiddetto **schermo** avente il compito di confinare il flusso elettromagnetico. La **figura 19** illustra appunto una induttanza schermata vista in sezione. Le dimensioni della scatola, sia essa cilindrica o prismatica, devono essere tali che le pareti risultino distanziate dalla bobina stessa, perchè altrimenti se ne comprometterebbe il valore induttivo, e il rendimento. Lo schermo

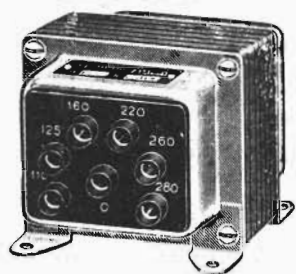



Fig. 22 — Tipico autotrasformatore per adattamenti di tensione rete. Il principio di funzionamento sarà esposto in apposita lezione.

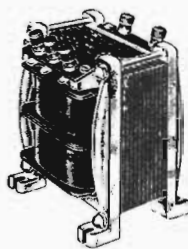
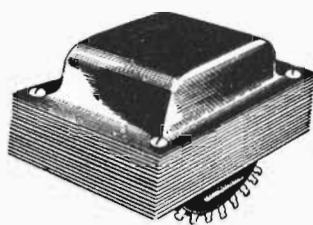



Fig. 23 — Due trasformatori. Il tipo a sinistra viene usato per l'alimentazione di apparecchiature radio ed è montato direttamente sullo « chassis » in un'ampia finestra praticata nello stesso. L'altro modello è a volte adottato nel campo delle frequenze acustiche.

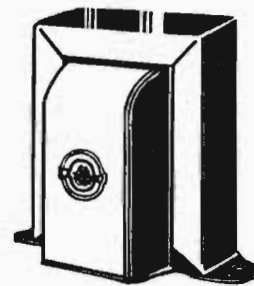



Fig. 24 — I trasformatori sono assai spesso schermati con « calotte » di ferro che nello stesso tempo contribuiscono alla protezione degli avvolgimenti.

può essere considerato, infatti come un avvolgimento accoppiato, in cortocircuito su se stesso; le correnti in esso indotte rappresentano altrettante perdite.

Introducendo una bobina in uno schermo, si verifica un minimo di perdita allorchè le dimensioni sono tali da mantenere tra la superficie esterna dell'avvolgimento e quella interna dello schermo una distanza superiore alla metà del diametro della bobina. Al di sotto di queste condizioni, l'induttanza si riduce all'incirca del 10% quando il rapporto tra la lunghezza ed il diametro è pari a 0,5; del 13% quando è pari a 1, e del 17% quando è pari a 2. Uno schermo più piccolo aumenterà le perdite e diminuirà l'induttanza in modo non proporzionale alla riduzione delle sue dimensioni.

Come ultimo esempio, si noti che uno schermo il cui diametro sia maggiore solo del 10% rispetto a quello della bobina riduce l'induttanza di oltre il 70%.

La **figura 20** illustra altri tipi di bobine schermate, nei cui schermi sono visibili i fori attraverso i quali è possibile introdurre un cacciavite o altro attrezzo per la regolazione del nucleo ferromagnetico di taratura. Con l'Alta Frequenza l'azione schermante necessaria è soprattutto elettrostatica per cui il materiale costituente lo schermo deve essere ad alta conduttività (rame, alluminio, ecc.). Affinchè la schermatura compia la sua funzione di protezione sia nei confronti della bobina verso i campi esterni, sia nei confronti dei componenti esterni verso la bobina stessa, l'involucro metallico deve essere collegato elettricamente ad un punto a potenziale elettrostatico zero, vale a dire, quasi sempre al telaio metallico che supporta i componenti dell'apparecchio e che nei rispetti di tutto il montaggio costituisce il ritorno comune di « massa ».

INDUTTANZE per BASSE FREQUENZE

Gli ultimi tipi di induttanze che ci restano da considerare in questo esame generale, sono quelle funzionanti con le frequenze dell'energia elettrica (corrente alternata) e con le frequenze acustiche che coprono la gamma della Bassa Frequenza.

Tali induttanze sono analoghe a quelle cilindriche già citate, ma sono costituite da un numero di spire molto più elevato, sono a strati multipli e sono sempre avvolte su un nucleo di materiale magnetico (ferro al silicio o altra lega di maggiore permeabilità).

Nel caso di un unico avvolgimento — con o senza prese intermedie — l'induttanza prende il nome di **impedenza** per Bassa Frequenza, in quanto, come vedremo, può costituire un vero e proprio impedimento al passaggio di una corrente alternata, mentre consente il passaggio della corrente continua. La **figura 21** ne illustra due esemplari; si può notare la matassa dell'avvolgimento effettuato su una apposita *carcassa*, ed il *pacco* costituito dai lamierini che compongono il nucleo.

Un'altra induttanza del genere è **l'autotrasformatore.** È un organo che, come il trasformatore serve per trasformare il valore di una tensione alternata in altro o in altri valori: un autotrasformatore è illustrato nella **figura 22.** Si nota una basetta di ingresso sulla quale figurano vari valori della tensione di entrata. Sull'altro lato — non visibile sulla figura — si trova un'altra basetta identica a quella di ingresso, dalla quale è possibile prelevare le tensioni di uscita. L'autotrasformatore è costituito da un unico avvolgimento (a differenza del trasformatore che è costituito da due o più avvolgimenti) provvisto di varie prese, a due a due predisposte per il collegamento a diverse tensioni. Una volta effettuato tale collegamento è possibile prelevare sull'altra basetta tutte le tensioni disponibili, a seconda della coppia di prese alle quali viene effettuato il collegamento. È dunque logico dedurre che l'entrata e l'uscita di un autotrasformatore sono invertibili, per cui non esiste tra loro alcuna distinzione.

Infine un tipo di induttanza complessa è il **trasformatore**, che — come sappiamo — permette di prelevare e di utilizzare le tensioni indotte in un avvolgimento ad opera di un altro percorso da corrente. La **figura 23** ne illustra due esemplari; di essi ci occuperemo dettagliatamente in seguito in una lezione dedicata esclusivamente a tale argomento.

Anche le induttanze per Bassa Frequenza hanno naturalmente un flusso disperso, costituito da un campo magnetico circostante da esse prodotto, e sono anch'esse sensibili ai campi magnetici esterni. Per questo motivo è bene siano schermate (**figura 24**). Essendo la frequenza in gioco più bassa che non nel caso delle induttanze per Alta Frequenza, le linee di forza che investono lo schermo trovano in esso una migliore permeabilità se lo stesso è costituito da materiale magnetico (esempio, ferro).

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

e = Tensione istantanea
H = henry
k = Coefficiente di accoppiamento
L = Induttanza (in μH, mH o H)
L_T = Induttanza totale
M = Induttanza mutua
mH = millihenry (millesimi di H)
Q = Fattore di merito
r = Raggio di una bobina
RL = Circuito con Resistenza e Induttanza
S = Sezione in cm^2
T = Costante di tempo
X = Reattanza (in genere) in ohm
X_L = Reattanza induttiva in ohm
Z = Impedenza in ohm
ϑ = Angolo di fase
μH = microhenry (milionesimi di H)

FORMULE

$e = E_{max}$ sen ϑ

$I = E:X_L$

$L = (K\mu SN^2) : (10^8 \times l)$

Tra varie induttanze in serie, non accoppiate:

$L_T = L1 + L2 + L3 + \ldots$

Tra varie induttanze in parallelo, non accoppiate:

$1:L_T = (1:L1) + (1:L2) + (1:L3) + \ldots$

Tra due induttanze in parallelo, non accoppiate:

$$L_T = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$$

Tra due induttanze in serie, accoppiate con campi magnetici nel medesimo senso:

$L_T = L1 + L2 + 2M$

Tra due induttanze in serie, accoppiate con campi magnetici in senso opposto:

$L_T = L1 + L2 - 2M$

$$L = \frac{r^2N^2}{(228{,}6 \times r) + (254 \times l)} \qquad M = k\sqrt{L1 \times L2}$$

$T = L:R$ $\qquad Q = X_L:R$

$X_L = 2\pi FL$ $\qquad X_L = \omega L$ $\qquad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $\qquad \omega = 2\pi F$

SEGNI SCHEMATICI

= Bobina per B.F. avvolta su nucleo di ferro

= Bobine per B.F. avvolte su nucleo di ferro ed accoppiate tra loro (Trasformatore)

DOMANDE sulle LEZIONI 28ª e 29ª

N. 1 — In quale caso si manifesta in una bobina una tensione auto-indotta?

N. 2 — Quale è l'influenza esercitata sulla corrente di un circuito da una f.e.m. indotta?

N. 3 — Da cosa viene determinato l'ammontare di una f.e.m. indotta?

N. 4 — In qual modo l'induttanza varia col variare del numero delle spire in un avvolgimento?

N. 5 — Se un'induttanza di 40 henry è accoppiata ad una bobina di 200 henry con un coefficiente di accoppiamento « K » pari a 0,7, quale è l'induttanza mutua?

N. 6 — In un circuito esclusivamente induttivo, come si comportano la corrente e la tensione?

N. 7 — Se una induttanza di 10 henry è percorsa da una corrente alternata avente una frequenza di 60 Hz, a quanto ammonta la reattanza induttiva?

N. 8 — A quanto ammonta l'impedenza di un circuito in serie in cui figurano 60 ohm di reattanza induttiva e 35 ohm di resistenza ohmica?

N. 9 — Per quale motivo in una induttanza pura non viene dissipata alcuna potenza?

N. 10 — Se una resistenza ed una bobina sono collegate in serie tra loro ed ai capi di una tensione di 400 volt, e se la caduta di tensione ai capi della prima è di 270 volt, a quanto ammonta IX_L?

N. 11 — A quanti millihenry ed a quanti microhenry corrisponde un'induttanza di 0,05 henry?

N. 12 — Quale è la proprietà elettrica che si oppone al passaggio di una corrente costante in un circuito?

N. 13 — A quanto ammonta l'induttanza di una bobina avente una lunghezza di 200 cm, un diametro di 5 cm, una permeabilità pari a 1 e 2.400 spire?

N. 14 — A quanto ammonta il coefficiente di accoppiamento tra due bobine se il 30% del flusso prodotto dalla prima investe la seconda?

N. 15 — Esprimere mediante la formula l'induttanza mutua tra due bobine in funzione dell'induttanza di ciascuna di esse e del relativo coefficiente di accoppiamento.

N. 16 — Quale è l'induttanza totale in henry di un circuito in serie costituito da tre induttanze di 10 henry ciascuna, perfettamente schermate (ossia non accoppiate) tra loro?

N. 17 — Quale è l'induttanza totale di un circuito in parallelo costituito da tre induttanze di 15 henry ciascuna perfettamente schermate (ossia non accoppiate) tra loro?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 209

N. 1 — Uno strumento che consente di misurare il valore in ohm, in kohm, o in Mohm, di una resistenza elettrica.

N. 2. — Nell'ohmetro in serie, la resistenza incognita viene connessa in serie allo strumento, per cui a massimi valori ohmici corrispondono minime deviazioni dell'indice; nel tipo in parallelo la resistenza incognita viene connessa in parallelo, per cui a massimi valori ohmici corrispondono massime deviazioni dell'indice.

N. 3 — Al fine di consentire misure comprese tra valori minimi e massimi. Ciò non è possibile in un'unica portata in quanto la precisione di lettura non sussisterebbe più.

N. 4 — Aumentando l'intensità della corrente che scorre nel circuito.

N. 5 — Aumentando la tensione fornita dalla batteria di alimentazione dello strumento, oppure aumentando la sensibilità di quest'ultimo.

N. 6 — Moltiplicando il valore indicato dall'indice per il fattore di moltiplicazione corrispondente alla portata scelta.

N. 7 — Perchè l'invecchiamento della batteria e le inevitabili variazioni delle costanti a causa delle variazioni di temperatura, fanno variare la corrente circolante allorchè i puntali si toccano senza alcuna resistenza tra loro.

N. 8 — Che i componenti ai capi dei quali si effettua la misura non siano sotto tensione.

N. 9 — Perchè altrimenti la batteria di alimentazione sarebbe soggetta a consumo continuo e si scaricherebbe rapidamente.

N. 10 — Uno strumento adatto a varie misure.

N. 11 — Due: a commutatore ed a boccole separate.

N. 12 — Nelle portate amperometriche, perchè la resistenza dei contatti del commutatore può essere causa di errori.

N. 13 — Può essere letta nelle portate di 500 e di 1.000 volt: nella prima con maggior precisione, e nella seconda con maggior sicurezza per lo strumento.

N. 14 — Nella portata massima: in seguito si potrà diminuire la portata fino ad avere un'indicazione soddisfacente.

N. 15 — Aggiungendo una resistenza addizionale esterna, calcolata in base al fattore ohm/volt dello strumento.

N. 16 — Perchè in tali casi si corre il rischio di piegare l'indice, peraltro molto delicato, e di interrompere la bobina mobile.

N. 17 — Non è possibile misurarlo, ma è possibile controllarlo. Infatti, nella portata ohmetrica più elevata, il valore a fondo scala è dell'ordine dei Megaohm, per cui, se non si ha alcuna lettura, ciò significa che l'isolamento è buono. Non è però possibile accertare a quale tensione detto isolamento ceda.

N. 18 — Misure di: 1) tensione in corrente continua; 2) tensione in corrente alternata; 3) corrente in corrente continua; 4) resistenza.

TABELLA 41

GRAFICI delle RELAZIONI RECIPROCHE tra REATTANZA INDUTTIVA INDUTTANZA - FREQUENZA

I tre grafici che seguono sono di notevole utilità pratica in quanto permettono di calcolare rapidamente, senza l'aiuto delle relative formule, **la reattanza induttiva, l'induttanza** o **la frequenza**, ciascuna di esse in funzione delle altre due.

Detti grafici coprono rispettivamente tutti i valori compresi tra 0,002 microhenry e 2.000 henry, tra 0,01 ohm e 10 Megaohm, ed infine tra 1 hertz e 1.000 Megahertz.

Per maggiore chiarezza, in ciascuno è riportato un esempio di impiego. Per l'uso, si tratta semplicemente di tracciare una linea retta che unisca i due valori noti sulle relative scale, individuando così il valore incognito con l'intersecazione della retta sulla terza scala corrispondente.

Come abbiamo visto nelle lezioni precedenti, la reattanza di una bobina è data dalla formula:

$$X_L = 2\pi FL$$

dalla quale è possibile ricavare:

$$L = \frac{X_L}{2\pi F} \quad \text{oppure} \quad F = \frac{X_L}{2\pi L}$$

Consideriamo l'esempio riportato sul primo grafico.

Supponiamo di dover calcolare la reattanza induttiva in ohm di una bobina avente una induttanza di 0,02 μH, relativa ad una frequenza di 78 MHz.

Applicando la prima delle formule sopra riportate, avremmo:

$$X_L = 2 \times 3{,}14 \times 78.000.000 \times 0{,}00000002 = 9{,}79 \text{ ohm}$$

Se tracciamo, sul nostro grafico (*primo esempio*) la retta che unisce il valore di 0,02 μH a quello di 78 MHz, individuiamo sulla scala della reattanza il valore 10 che, con una buona approssimazione, corrisponde a quello ottenuto con l'applicazione della formula.

Se dobbiamo conoscere (*secondo esempio*) l'induttanza di una bobina che oppone una reattanza di 2.000 ohm ad una frequenza di 10 kHz, è sufficiente unire con una retta i due punti che individuano i due citati valori sulle scale relative, prolungandola fino ad incontrare la scala dell'induttanza (a sinistra), sulla quale leggiamo il valore di 30 mH.

Infine, (*terzo esempio*), se dobbiamo conoscere la frequenza in corrispondenza della quale un'induttanza di 2,08 H oppone una reattanza di 650 ohm, uniamo i punti corrispondenti e proseguiamo la retta fino ad intersecare la scala delle frequenze (a destra) sulla quale leggiamo il valore di 50 Hz.

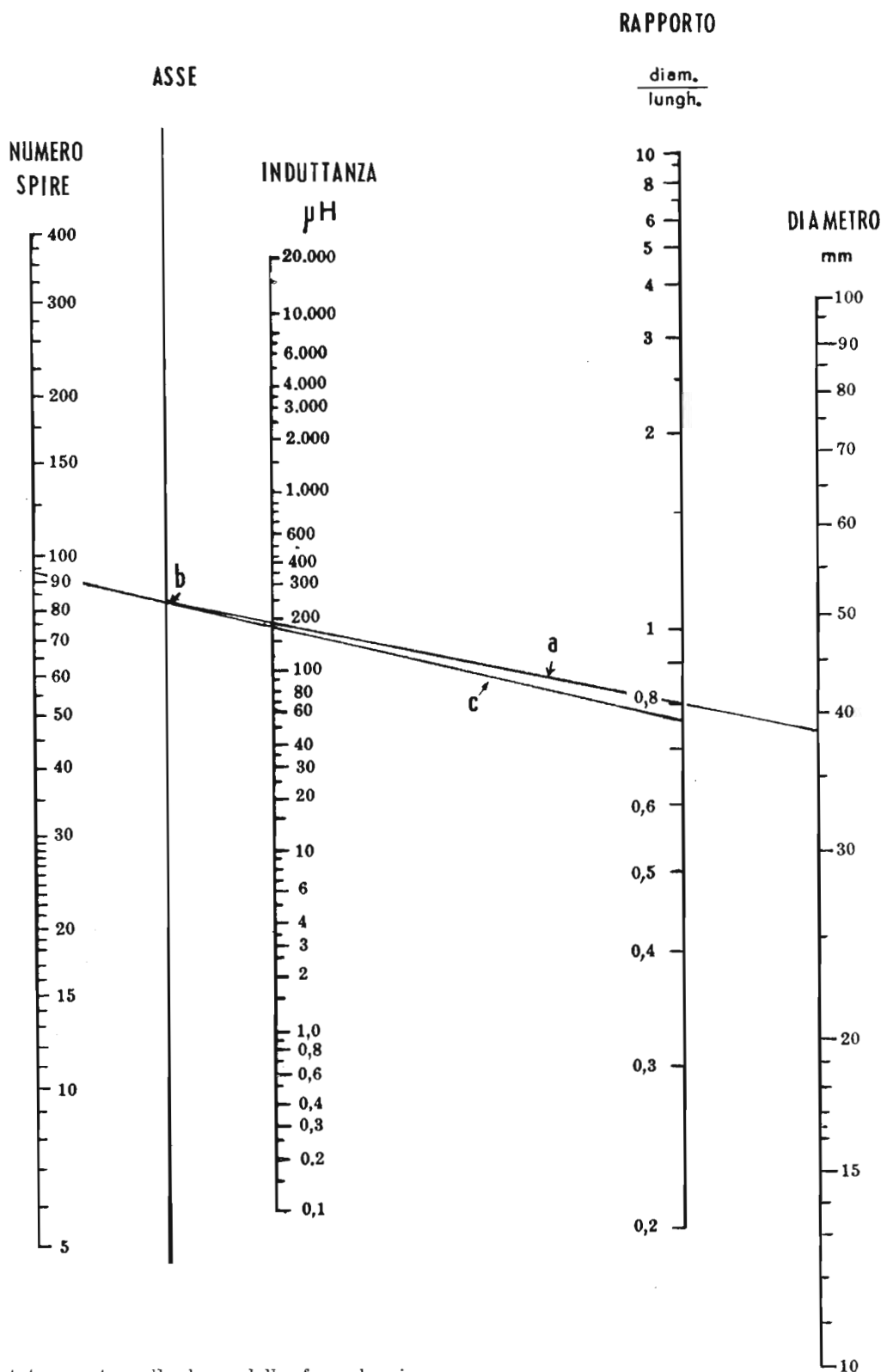
Ovviamente l'applicazione della formula consente un calcolo molto più esatto nei confronti delle cifre decimali, tuttavia il lettore constaterà che, per gli impieghi pratici, l'esattezza dei grafici è soddisfacente.

Per maggior chiarezza abbiamo riportato un esempio diverso su ciascuno grafico, tuttavia è evidente che ognuno di essi si presta indifferentemente ai tre tipi di calcolo.

INDUTTANZA
L
REATTANZA
X_L
FREQUENZA
f
2.000
1.000
500
200
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
0,005
0,002
MΩ
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
100.000
50.000
20.000
10.000
5.000
2.000
1.000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
Ω
1.000
500
400
300
200
150
100
50
40
30
20
15
10
5
4
3
2
1,5
1
MICROHENRY
MEGAHERTZ

INDUTTANZA
L
2.000
1.000
500
200
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
0,005
0,002
MILLIHENRY
REATTANZA
XL
MΩ
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
100.000
50.000
20.000
10.000
5.000
2.000
1.000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
Ω
FREQUENZA
f
1.000
500
400
300
200
150
100
50
40
30
20
15
10
5
4
3
2
1,5
1
CHILOHERTZ

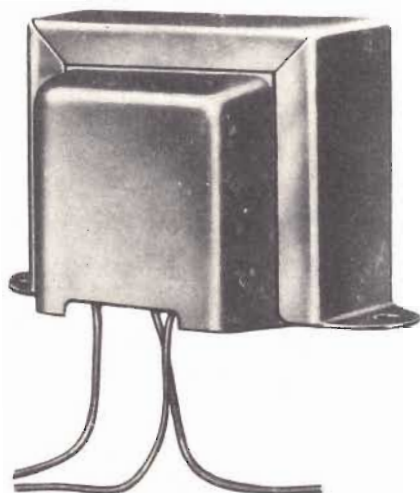
INDUTTANZA
L
REATTANZA
XL
FREQUENZA
f
MΩ
Ω
HENRY
HERTZ
2.000
1.000
500
200
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
0,005
0,002
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
100.000
50.000
20.000
10.000
5.000
2.000
1.000
500
200
100
50
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
1.000
500
400
300
200
150
100
50
40
30
20
15
10
5
4
3
2
1,5
1

TABELLA 42 - GRAFICO per il CALCOLO RAPIDO di INDUTTANZE CILINDRICHE ad un SOLO STRATO

Il grafico è stato creato sulla base della formula riportata nella lezione precedente, ed è di facile impiego. L'esempio si riferisce appunto al calcolo effettuato precedentemente (vedi pag. 230). Dal punto corrispondente al diametro di 38 mm, si traccia una linea (**a**) passante per il punto che corrisponde al valore di 185 μH sulla *scala dell'induttanza,* individuando così il punto **b** *sull'asse di riferimento.* Da questo punto si traccia una seconda linea (**c**) fino ad incontrare sull'asse del *rapporto diam./lungh.* il valore derivante da 38 : 50 e cioè 0,76. Detta linea, prolungata a sinistra, individua sulla relativa colonna il *numero delle spire,* (93). Anche questo grafico è reversibile, per cui, noti il numero delle spire e le dimensioni meccaniche, è possibile conoscere l'induttanza invertendo il procedimento. La sezione del filo potrà essere ricavata dalla tabellina pubblicata a pag. 230.

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

PARTI STACCATE PER RADIO - TELEVISIONE - AMPLIFICAZIONE - APPARECCHI ELETTRONICI

IMPEDENZE

per
Alta Frequenza e
per
Bassa Frequenza

Chiedete il listino delle parti staccate ed il "BOLLETTINO TECNICO GELOSO"

Direzione Centrale: **GELOSO** S.p.A. Viale Brenta 29 - MILANO 808

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

MODELLO

QM-1

CARATTERISTICHE

Frequenza . . .	150 kHz ÷ 18 MHz in quattro gamme
Induttanza . . .	da 1 microhenry a 10 millihenry
Q	250 fondo scala x 1 oppure x 2
Capacità	Attuale 40 pF ÷ 450 pF Effettiva 40 pF ÷ 400 pF Verniero ± 3 pF
Tubi elettronici .	1 - 12AT7; 1 - 6AL5; 1 - 12AU7; 1 - 6X5; 1 - OD3/VR150
Alimentazione . .	105 ÷ 125 Volt c.a. 50 ÷ 60 Hz, 30 Watt
Dimensioni . . .	altezza 20, larghezza 43, profondità 15 cm.

REQUISITI

- L'oscillatore variabile permette di effettuare le misure da 150 kHz a 18 MHz.
- Facile lettura su uno strumento ad indice ad ampia scala (112 mm.).
- Bobine a RF prefabbricate, tutte le parti meccaniche sagomate e forate.
- Per la taratura non è richiesto nessun strumento ausiliario, a questo scopo è fornita una bobina di prova.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1 Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI

Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE

Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359